

# POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria Edile

**Tesi di Laurea Magistrale**

## **Valutazioni sismiche e proposte innovative di intervento sul complesso Torino Esposizioni**



**Relatore:**

Prof. Ceravolo Rosario

**Correlatrice:**

Dott.ssa Lenticchia Erica

**Candidato:**

Crosetti Giacomo

Dicembre 2017



# Sommario

<b>1</b>	<b>Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Il rischio sismico</b> .....	<b>2</b>
2.1	Normativa Italiana antisismica .....	2
2.2	Valutazione della sicurezza strutturale.....	4
2.2.1	Vulnerabilità sismica edifici esistenti in calcestruzzo armato .....	6
2.3	Bibliografia.....	8
<b>3</b>	<b>Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni</b> .....	<b>9</b>
3.2	Introduzione.....	9
3.3	Pier Luigi Nervi .....	10
3.4	Il palazzo delle esposizioni a Torino.....	12
3.4.1	Il salone C.....	13
3.5	Il modello FEM adottato .....	17
3.6	Metodologia di analisi.....	21
3.6.1	Generazione degli spettri di progetto .....	24
3.6.2	Modi Selezionati .....	27
3.7	Selezione delle zone critiche .....	37
3.8	Risultati ottenuti.....	45
3.8.1	Output modello senza muri di tamponamento .....	45
3.8.2	Output modello con muri di tamponamento .....	49
3.9	Verifiche .....	54
3.9.1	Verifica degli elementi di copertura in ferroceemento .....	55
3.9.2	Verifiche a pressoflessione.....	63
3.9.3	Verifiche a taglio.....	74
3.10	Commento dei risultati ottenuti .....	104
3.11	Bibliografia .....	106
<b>4</b>	<b>Geopolimeri</b> .....	<b>108</b>
4.1	Geopolimeri o alcali attivati?.....	108
4.2	Cenni storici.....	110
4.3	Le componenti dei geopolimeri .....	112
4.3.1	Metacaolini.....	113
4.3.2	Ceneri volanti.....	114
4.3.3	Attivatori alcalini .....	116

4.3.4	Scorie d'altoforno granulate .....	117
4.3.5	La pozzolana.....	119
4.3.6	Lolla di riso .....	120
4.3.7	Fanghi di lavorazione dell'alluminio .....	121
4.4	La geopolimerizzazione .....	123
4.4.1	L'influenza dei rapporti molarli sul prodotto finale.....	124
4.4.2	Confronto rispetto al cemento Portland.....	125
4.5	Prestazioni dei geopolimeri .....	126
4.5.1	Prestazioni meccaniche dei geopolimeri.....	126
4.5.2	Prestazioni termiche dei geopolimeri.....	129
4.6	Possibilità di impiego dei geopolimeri nell'industria delle costruzioni .....	130
4.7	Bibliografia.....	132
<b>5</b>	<b>Proposte innovative di intervento .....</b>	<b>135</b>
5.1	Il rinforzo strutturale proposto per il caso studio .....	135
5.1.1	Descrizione delle modalità di intervento .....	138
5.2	Bibliografia.....	141
<b>6</b>	<b>Conclusioni.....</b>	<b>142</b>
	<b>Ringraziamenti.....</b>	<b>145</b>
	<b>Allegati A .....</b>	<b>146</b>
	Listato Ansys per effettuare l'analisi modale .....	146
	Listato Ansys per l'estrazione degli autovettori .....	147
	Listato Ansys per caricare gli spostamenti nodali.....	149
	Listato Ansys per effettuare l'analisi statica.....	150
	Listato Ansys per la definizione delle caratteristiche di sollecitazione .....	151
	Listato Ansys per l'estrazione delle caratteristiche di sollecitazione .....	153
	<b>Allegati B .....</b>	<b>154</b>
	Script Matlab per la generazione degli spostamenti spettrali da applicare al modello FEM.....	154
	Script Matlab per la selezione delle caratteristiche di sollecitazione degli elementi da verificare .....	166
	Script Matlab per generazione dell'output in excel e combinazione degli effetti secondo la CQC.....	169
	Script Matlab per l'estrapolazione dei dati geometrici necessari per l'elaborazione degli elementi shell.....	177
	<b>Allegato C.....</b>	<b>180</b>

6.2	Regio Decreto 16/11/1939 n. 2229.....	180
<b>Allegati D</b>	.....	<b>182</b>
•	Abaco delle sezioni verificate: Tavola_01 .....	182
•	Schema proposta di intervento: Tavola_02.....	182

# 1 Introduzione

La valutazione della sicurezza strutturale di edifici esistenti in caso di eventi sismici è un tema di grande attualità. Tale disciplina presuppone di affrontare non poche difficoltà, che diventano ancora più importanti nel caso in cui venga affrontata la valutazione di un edificio di gran pregio architettonico. Questo tipo di attività, soprattutto in un paese come l'Italia estremamente ricco di testimonianze storiche, artistiche e architettoniche, è di vitale importanza poiché costituisce un tassello fondamentale nella conservazione del patrimonio costruito, specialmente in vista di un suo riutilizzo.

Il presente lavoro ha come obiettivo quello di analizzare ed individuare le criticità sotto sisma del Salone C, facente parte del complesso di Torino Esposizioni. Una struttura di notevole pregio, testimone di un'eccellenza Italiana del passato, il progettista strutturale Pier Luigi Nervi. Questa costruzione rappresenta inoltre un esempio ben riuscito di impiego di materiali e tecniche innovative per l'epoca della sua costruzione. Il lavoro si conclude con la proposta innovativa di utilizzo di un sistema di rinforzo basato sull'utilizzo dei geopolimeri.

Nel primo capitolo vengono introdotti i concetti di rischio sismico e di valutazione della sicurezza strutturale, per poi affrontare il caso di edifici esistenti, ponendo l'accento sulle strutture in cemento armato.

Nel secondo capitolo viene presentato il caso studio, riportando un'approfondita ricerca storica, con l'obiettivo di comprendere la concezione strutturale dell'edificio. Successivamente viene implementata la metodologia di analisi mediante un programma modulare basato sull'utilizzo congiunto di Ansys e Matlab. Tale approccio si rende necessario anche perché questa tipologia di struttura non ricade negli schemi costruttivi ordinari, perciò necessita di attenzioni e scelte particolarmente ragionate. Infine, sulla base dei risultati ottenuti vengono effettuate una serie di verifiche sugli elementi ritenuti di maggiore criticità, andando ad individuare pregi e carenze della struttura.

Nel terzo capitolo, in risposta alle criticità emerse dalla fase di analisi nasce la necessità di un intervento di rinforzo, a tal fine viene effettuata una vasta campagna di ricerca sul materiale oggetto della proposta di intervento, i geopolimeri. Il lavoro effettuato è basato sulla ricerca bibliografica in letteratura, sia bianca che grigia, con l'obiettivo di individuare il percorso storico, lo stato di avanzamento della ricerca, le caratteristiche fisico-meccaniche, le modalità di produzione, le problematiche e le possibilità future di impiego di questo materiale.

Nell'ultimo capitolo vengono infine uniti i risultati ottenuti precedentemente, al fine di proporre un sistema di rinforzo innovativo di intervento basato sull'uso di fibre di rinforzo di acciaio ad alta resistenza e di malte geopolimeriche.

## 2 Il rischio sismico

### 2.1 Normativa Italiana antisismica

L'evoluzione della normativa antisismica in Italia ha seguito la cronistoria dei principali eventi sismici avvenuti sul territorio nazionale. A partire dai dati ottenuti da ogni evento catastrofico venivano attuati nuovi accorgimenti, questo percorso di continuo aggiornamento si è articolato negli'anni producendo norme sempre più avanzate.

I primi atti risalgono al 1908, dopo il disastroso evento di Messina e Reggio Calabria venne emesso il Regio Decreto n. 193/1909. Esso includeva alcune regole empiriche da applicare nella costruzione di nuovi edifici ed al rinnovamento di quelli esistenti. Venne inoltre creata la prima classificazione sismica. Questo rudimentale strumento non faceva altro che inserire all'interno della mappa i comuni colpiti dagli eventi passati. Il suo aggiornamento seguiva la cronistoria dei terremoti, perciò non costituiva ancora un valido strumento preventivo.

Nel 1974 con la legge n. 64 del 2 febbraio uscirono le prime norme tecniche contenenti concetti e conoscenze di ingegneria sismica. A seguito del terremoto del Friuli Venezia Giulia del 1976 e dell'Irpinia del 1980, sono stati avviati studi sismologici più approfonditi. Questi hanno portato alla creazione di una classificazione vera e propria, suddividendo il territorio Italiano in tre zone sismiche. Un altro passo in avanti venne fatto con l'introduzione del D.M. 16 gennaio 1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica". Parallelamente alla progettazione mediante le tensioni ammissibili venne proposto l'utilizzo del metodo semiprobabilistico agli stati limite.

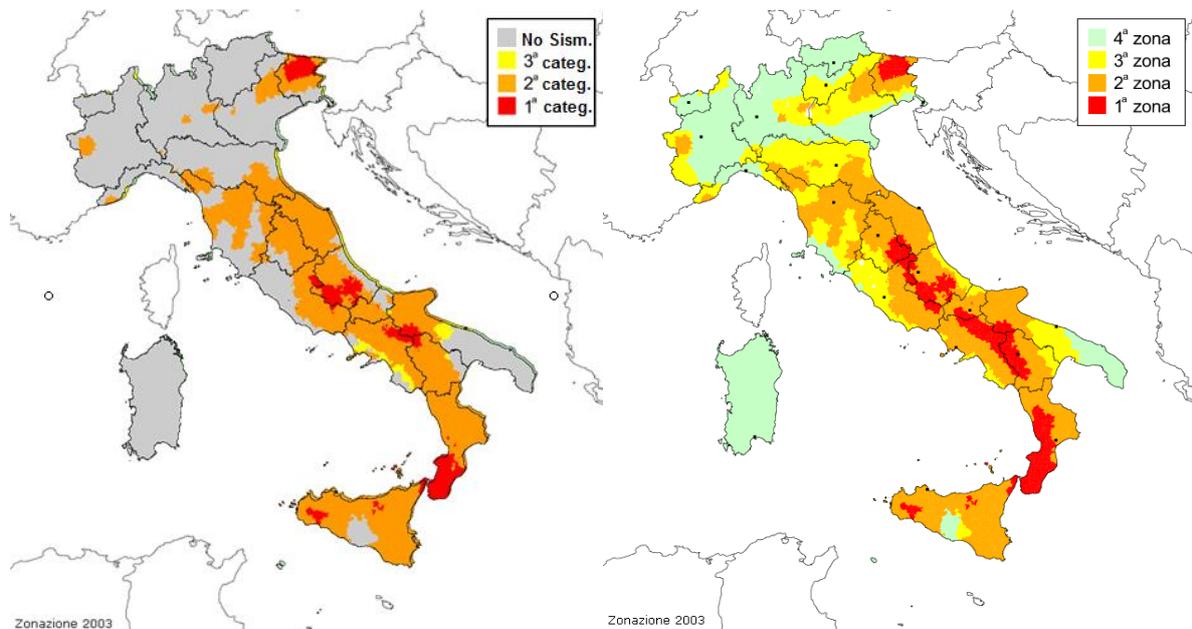


Figura 2.1 Classificazione sismica della penisola Italiana, a sinistra antecedente al D.M. 16 gennaio 1996, a destra post O.P.C.M 20 marzo 2003 n. 3274 [2]

L'ultima generazione di normative va posta dopo gli eventi del 2002 che hanno colpito Molise e Puglia, con l'uscita dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274. Le principali novità sono:

- l'introduzione della zona 4 a bassa sismicità, di conseguenza tutto il territorio nazionale è considerato sismico, vedi Figura 2.1;
- la classificazione e le norme tecniche sono collegate;
- è previsto l'adeguamento sismico degli edifici strategici della Protezione Civile e degli edifici ad alto affollamento;
- la classificazione è soggetta a periodiche revisioni.

La pericolosità sismica viene ora definita sia in termini statistici, definendo il periodo di ritorno  $T_r$  di un sisma di prefissata severità, che in termini probabilistici ovvero definendo la probabilità che un evento sismico avente un  $T_r$  fissato si verifichi in un certo periodo di riferimento  $V_r$ . Il risultato è la creazione di una mappa che classifica il territorio Italiano secondo una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni della PGA.

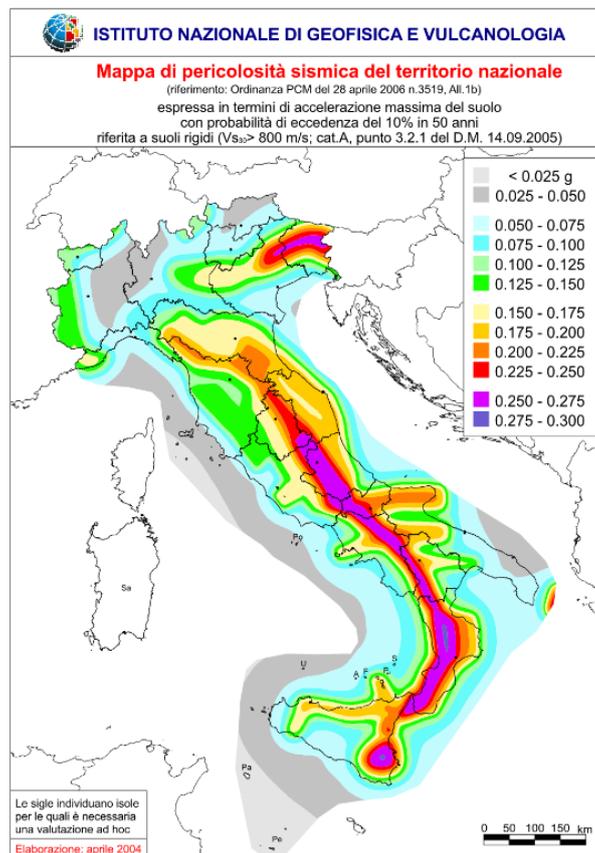


Figura 2.2 Mappa di pericolosità sismica della penisola Italiana [1]

L'ultimo aggiornamento dell'O.P.C.M. risale al 3 maggio 2005. Conseguentemente prima nel 2005 e poi nel 2008 escono le nuove norme tecniche per le costruzioni, attualmente in vigore con il D.M. 14 gennaio 2008 e contenenti l'O.P.C.M. L'approccio progettuale si allinea alle più moderne normative prestazionali europee, passando definitivamente al metodo semiprobabilistico degli stati limite.

## 2.2 Valutazione della sicurezza strutturale

La sicurezza e le prestazioni strutturali di un'opera devono essere valutate secondo quanto prescritto nella normativa attualmente in vigore, ovvero utilizzando il *metodo semiprobabilistico agli stati limite basato sull'impiego dei coefficienti di sicurezza parziali*. Per stato limite si intende una determinata condizione, nel caso in cui venga superata, si decreta il non soddisfacimento delle esigenze imposte dal progettista.

Secondo le N.T.C. 2008:

*“La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. [...] le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:*

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;*
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;*
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.*

*Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso. Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.”* (paragrafo §2.2) [3].

Per gli edifici esistenti si fa riferimento a quanto riportato nel Cap. VIII delle NTC 2008:

*“La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su costruzioni esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti:*

- *la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;*
- *possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;*
- *la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;*
- *le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.*

*Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso, nelle verifiche di sicurezza, di adeguati “fattori di confidenza”, che modificano i parametri di capacità in funzione del livello di conoscenza relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.”* (paragrafo §8.2) [3].

*“La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU; nel caso in cui si effettui la verifica*

*anche nei confronti degli SLE i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente.*

*Le Verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).*

*Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:*

- *riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;*
- *provati gravi errori di progetto o di costruzione;*
- *cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;*
- *interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità.*

*La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:*

- *l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;*
- *l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);*
- *sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.*

*La valutazione della sicurezza dovrà effettuarsi ogni qual volta si eseguano gli interventi strutturali di cui al punto 8.4, e dovrà determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento. Il Progettista dovrà esplicitare, in una apposita relazione, i livelli di sicurezza attuali o raggiunti con l'intervento e le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione". (paragrafo §8.3) [3].*

Quanto precedentemente esposto, esprime la metodologia operativa da adottare quando si opera in campo strutturale, in sintesi è anche possibile esprimere il concetto mediante la seguente equazione (paragrafo §8.3, eq. 2.2.1) [3]:

$$R_d \geq E_d \quad (2.1)$$

dove con  $R_d$  viene indicata la resistenza di progetto, valutata secondo le caratteristiche dei materiali e delle geometrie in gioco, mentre con  $E_d$  si indica il valore caratteristico delle azioni. L'equazione (2.1) deve essere sempre rispettata per ogni stato limite analizzato.

### 2.2.1 Vulnerabilità sismica edifici esistenti in calcestruzzo armato

Come precedentemente esposto nel paragrafo 2.2 la valutazione degli edifici esistenti passa attraverso una serie di indagini e di verifiche con l'obiettivo ultimo di determinare il livello di sicurezza offerto rispetto ad un determinato stato limite. Il metodo comunemente adottato per attuare questa valutazione è di tipo iterativo ed è schematicamente rappresentato in Figura 2.3.

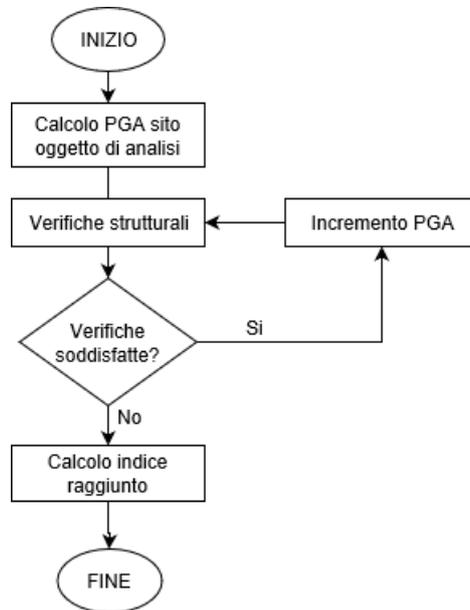


Figura 2.3 Diagramma di flusso della procedura di determinazione dell'indice di vulnerabilità sismica

Convenzionalmente il parametro di controllo adottato, anche per motivi di comodità, è l'accelerazione di picco al suolo; essa viene incrementata gradualmente fino al raggiungimento del collasso di uno o più elementi strutturali, calcolando quindi l'indice raggiunto, il quale (in caso di verifica assume valori maggiori a 1) viene così espresso:

$$I_s = \frac{PGA_{SLV}}{S_s \cdot S_T \cdot a_{g,sito}} > 1 \quad (2.2)$$

Dove:

- $a_{g,sito}$  è il valore di accelerazione di picco al suolo desunto secondo normativa a partire dalle coordinate geografiche dell'edificio oggetto d'intervento;
- $S_s$  è il fatto che tiene in conto della stratigrafia del terreno;
- $S_T$  è il fatto che tiene in conto delle caratteristiche topografiche del sito;
- $PGA_{SLV}$  è l'accelerazione che porta a collasso la struttura o parte di essa.

La verifica degli elementi di una struttura in calcestruzzo armato si differenzia a seconda del meccanismo di rottura, che può essere di tipo duttile oppure fragile. Perciò prima di condurre le verifiche occorre classificare le zone della struttura secondo tali categorie. Un esempio di classificazione degli elementi fragili può essere la seguente:

## 2 Il rischio sismico

- se l'elemento raggiunge prima la crisi per taglio rispetto a quella per momento;
- se si osserva la crisi nel nodo prima di quella degli elementi che vi concorrono esso è considerato fragile;
- elementi caratterizzati da un elevato livello di compressione;
- in base a considerazioni geometriche sul corretto proporzionamento di travi, pilastri e nodi;
- nel caso in cui si evidenzi un marcato degrado dell'elemento strutturale.

Infine la modellazione dell'azione sismica e delle proprietà meccaniche dei materiali è funzione del livello di conoscenza raggiunto della struttura in esame, come riportato in tabella 8A.1.2 [4].

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esauritive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esauritive prove in-situ	Tutti	1.00

Figura 2.4 Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio (Tabella C8A.1.2) [6].

## 2.3 Bibliografia

- [1] [www.ingv.it](http://www.ingv.it)
- [2] [www.ingegneriasismicaitaliana.com](http://www.ingegneriasismicaitaliana.com)
- [3] D.M. 14 gennaio 2008 n. 29, “Norme Tecniche per le Costruzioni”
- [4] Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, 2 febbraio 2009, n. 617. “Istruzioni per l’applicazione delle *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”*”.

## **3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni**

### **3.2 Introduzione**

L'obiettivo della tesi è quello di effettuare una serie di valutazioni sismiche sul Padiglione C facente parte del complesso Torino Esposizioni. Questa importante struttura spaziale in calcestruzzo armato e ferrocemento, al pari del Padiglione B, rappresenta un capolavoro di scienza e tecnica del costruire. Si tratta infatti di un'opera carica di elementi innovativi, che esprimono tutta la genialità dell'ingegnere progettista Pier Luigi Nervi.

Lo studio di vulnerabilità di un edificio si basa sul livello di conoscenza raggiunto, occorre quindi affrontare innanzitutto un'analisi storica adeguata dell'edificio e della sua concezione strutturale.

Il seguente lavoro, a causa della sua vastità si pone come un ulteriore tassello, collegandosi quindi a quello di altri autori che hanno affrontato lo studio di quest'opera. In particolare la geometria e la relativa modellazione della struttura in ambiente FEM provengono da precedenti tesi svolte al Politecnico di Torino [1].

A partire dal modello fornito è stata affrontata una doppia analisi del comportamento sotto sisma, ovvero considerando la presenza e l'assenza dei muri di tamponamento. Lo studio è stato effettuato utilizzando congiuntamente il software FEM Ansys con Matlab ed Excel.

### 3.3 Pier Luigi Nervi

Pier Luigi Nervi nasce il 21 giugno 1891 a Sondrio, ricevette dalla famiglia di estrazione borghese una rigida istruzione; la scelta di iscriversi ad ingegneria civile fu del tutto fortuita, tuttavia si dimostrò vincente, conseguì infatti la laurea a soli 22 anni, nel 1913, presso la Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri ed Architetti di Bologna [6]. Nervi inizialmente lavorò come dipendente per la Società Anonima per Costruzioni Cementizie, guidata dal suo professore di architettura tecnica, Attilio Muggia [6]. Durante questo primo periodo di formazione venne destinato alla sede di Firenze, ebbe quindi modo di approfondire le sue conoscenze sul calcestruzzo armato, progettando e dirigendo i lavori di numerose opere.

Parallelamente inizia l'attività d'inventore, depositando brevetti legati al campo del calcestruzzo armato e dei materiali da costruzione, e avvia una carriera personale ottenendo la prima commessa dai marchesi Pucci per la costruzione di una diga in prossimità di Montecatini [6].

Nel 1923 si dimise e fondò la sua prima società a Roma, la società per costruzioni *"Ing. Nervi e Nebbiosi"* [7]. Gli anni della collaborazione con Nebbiosi sono caratterizzati dalla realizzazione di cinema-teatri, autorimesse e edifici industriali di varia natura che permettono a Nervi di approfondire le capacità strutturali ed estetiche del cemento armato.

Nel 1932 decide di creare insieme al cugino Giovanni Bartoli, anche lui ingegnere e operativo in Toscana per conto della *"Ing. Nervi e Nebbiosi"*, una società di cui Nervi diventa il socio principale, la Società *"Ing. Nervi e Bartoli"*. Risalente a quel periodo (1930 - 1932) è la costruzione della prima opera di rilievo per Nervi, lo stadio comunale di Firenze [2]. Seguirono dal 1935 al 1942 una serie di aviorimesse realizzate per la Regia Aeronautica militare. Con questo tipo di strutture Nervi ebbe la possibilità di esprimere per la prima volta tutta la sua sapienza tecnica, sperimentando e brevettando la prefabbricazione strutturale.



Figura 3.1 Aviorimessa in calcestruzzo armato, P. L. Nervi, Orvieto

Parallelamente sviluppò l'uso del ferroceamento, un'altra costante dei metodi costruttivi utilizzati nelle sue opere. Con queste innovazioni è stato in grado di creare strutture spaziali di notevoli dimensioni. L'uso combinato di questi elementi consentiva infatti di ottenere spessori strutturali notevolmente ridotti e di conseguenza un minor peso. Anche sul piano economico tali metodi risultarono vincenti, poiché consentivano non solo di impiegare meno materiale ma anche di diminuire i tempi di costruzione. Il primo esempio d'impiego combinato risale al dopo guerra (1947 - 1950), con la realizzazione dei saloni B e C per il complesso di Torino Esposizioni [2].

Grazie al successo ottenuto sia a livello locale che internazionale ottenne incarichi per opere di sempre maggior prestigio quali: la sede dell'Unesco a Parigi (1952-1958), le strutture del grattacielo Pirelli a Milano studiate con Danusso (1955- 1960), il palazzetto dello sport a Roma (1956-1957); il viadotto di corso Francia a Torino (1959); lo stadio Flaminio a Roma (1956-1959) in occasione delle olimpiadi del 1960. Mentre si inaugurano i Giochi, Nervi è già all'opera per realizzare il Palazzo del Lavoro a Torino (1959-1961), destinato ad accogliere la mostra più significativa per le celebrazioni del centenario dell'Unità d'Italia, e la struttura sospesa della Cartiera Burgo a Mantova (1960-1964).

Negli anni 60' inizia un periodo di recessione per l'Italia, ma grazie all'esperienza e alla notorietà consolidata con le precedenti opere Nervi riesce ad avere successo anche in campo internazionale, facendosi portatore di un linguaggio architettonico strutturale unico nel suo genere. Ne sono un esempio la stazione per gli autobus a New York (1961-1962), la cattedrale di St. Mary a San Francisco (1966-1971), le strutture per la torre della Borsa Montreal in Canada (1962-1966), l'Ambasciata d'Italia a Brasilia (1969-1976), il Good Hope Center a Cape Town in Sud Africa (1970-1978).

Pier Luigi Nervi morì il 9 gennaio del 1979. È stato uno dei massimi esponenti dell'architettura strutturale del 900' [2]. Le sue opere hanno pochi rapporti con la linea di sviluppo dell'architettura moderna in Italia, si collocano invece nella tradizione della migliore architettura tecnica europea che ha i suoi precedenti nelle ricerche strutturali di E. Freyssinet, R. Maillart e F. Hennebique [3]. Su di lui Argan scrive:

*“Che l'obiettivo principale della ricerca di Nervi sia un valore formale è evidente, nelle strutture di materiali plastici la forma non è soltanto la manifestazione sensibile o la rappresentazione plastica delle forze costruttive, ma un agente essenziale del loro determinarsi e del loro organizzarsi in sistemi di equilibrio [4].”*

*“È anche chiaro quindi che la forma non dipende da una preconstituita ed accettata strutturalità dello spazio, ma di volta in volta viene determinata in un rapporto di forze attive [4].”*

La sintesi del pensiero di P. L. Nervi si basa sulla constatazione che il calcolo matematico e la scienza delle costruzioni non possono essere una guida sufficiente nella progettazione strutturale, poiché nei calcoli vi è sempre un largo margine di approssimazione. Infatti il calcolo segue processi logici, mentre il processo dell'invenzione è notoriamente di tipo intuitivo [3].

### 3.4 Il palazzo delle esposizioni a Torino

Il complesso fieristico di Torino Esposizioni sorge lungo corso Massimo D’Azeglio, venne progettato da Ettore Sottsass nel 1938, a seguito dei bombardamenti avvenuti durante la seconda guerra mondiale, venne in gran parte distrutto. A Pier Luigi Nervi venne affidata, nel 1947, la progettazione e la realizzazione dei padiglioni espositivi B e C. Claudio Greco scrive:

*“Si pensò di realizzare un grande salone per le esposizioni al parco del Valentino, sulle macerie del Palazzo della Moda, semidistrutto dai bombardamenti. L’impresa apparve subito d’importanza decisiva per l’economia locale e dell’intera nazione e volle affidarla a mani sicure ed esperte. Non sono chiare le ragioni e le modalità che hanno portato alla scelta di Nervi per un così difficile compito; certo è che nessuno come lui si trovò, all’inizio del 1947, in un momento così particolare e favorevole della propria storia professionale per poter rispondere alle ambiziose prospettive [6].”*

*“Il planivolumetrico generale fu predisposto da Roberto Biscaretti Di Ruffia, ingegnere della Fiat, per conto della società “Torino Esposizioni”, fondata per l’occasione. Il progetto prevedeva il recupero di parte del preesistente Palazzo della Moda, disegnato nel 1936 dall’architetto Ettore Sottsass; in particolare furono restaurati il teatro, con l’annessa cavea all’aperto, il ristorante circolare e la facciata principale, con il grande portico in vetrocemento su Corso Massimo D’Azeglio [6]”*

*“Sulla base del progetto di massima dell’ingegner Biscaretti, nel giugno 1947 l’appalto “è affidato all’impresa Nervi e Bartoli, specializzata in lavori del genere”. L’incarico comprende il progetto esecutivo, strutturale e architettonico, e la realizzazione del complesso [6]”.*



Figura 3.2 Fotografi storica del Palazzo delle Esposizioni di Torino

Tra il 1947 ed il 1948 venne realizzato nella zona centrale, il salone espositivo principale, denominato B (detto anche salone "Agnelli"). Viene inoltre costruito uno spazio minore (Salone A) a tutt'altezza. Tra il 1949 ed il 1950 avviene la costruzione del nuovo salone C, andando a ricoprire una zona di 50x65 metri prima destinata a teatro all'aperto. Infine tra il 1952 ed il 1954 avviene l'ampliamento del salone B verso corso Massimo D'Azeglio, realizzando così il prospetto come lo vediamo oggi.

### 3.4.1 Il salone C

Si riporta di seguito una descrizione dell'opera tratta da un articolo scritto da Nervi e pubblicato nella rivista "Rassegna tecnica" [8]:

*"La realizzazione del nuovo Salone, che quest'anno è venuto ad arricchire il complesso di Torino-Esposizioni, presentava due difficoltà abbastanza gravi: una concettuale ed architettonica data dall'evidente opportunità di armonizzare la nuova opera al carattere delle precedenti senza ripeterne le forme o i particolari; l'altra, pratica, per il brevissimo periodo di tempo, di pieno inverno, concesso per la sua ultimazione. Infatti i lavori, iniziati nei primi giorni di novembre, dovevano essere ultimati senza possibilità di rinvii, dati dagli impegni internazionali del Salone, entro il 15 aprile.*

*Le dimensioni del salone (50x65) e la sua ubicazione sono stati fissati come per il precedente salone centrale dall'Ing. R. Biscaretti e dall'Ufficio tecnico di T. E., mentre allo scrivente veniva chiesto un progetto della nuova opera e all'Impresa Ing. Nervi e Bartoli la relativa offerta di costo. Tra le soluzioni presentate, volta a crociera, volta nel senso dei 65 m, e solai piani laterali con conseguenti grandi lunette di illuminazione, e volta a padiglione portata da 4 arconi inclinati, è stata scelta quest'ultima che effettivamente presentava sulla seconda il vantaggio di una più organica ed espressiva formula statica, e sulla prima un sensibile vantaggio economico [8]."*

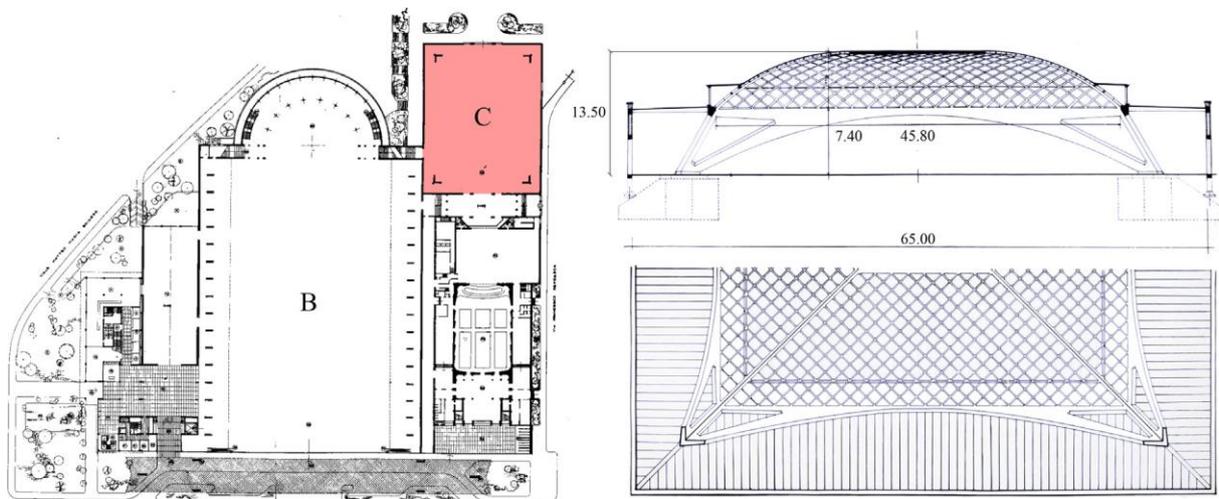


Figura 3.3 A sinistra planimetria del complesso di Torino Esposizioni, in rosso è evidenziato il salone C; a destra sezione longitudinale e pianta del salone C

*"Lo schema statico della soluzione adottata è di una evidente semplicità. La reazione inclinata trasmessa dalla volta a padiglione lungo il suo perimetro è riportata alle fondazioni da 4 archi ribassati disposti in piani aventi una inclinazione che corrisponde approssimativamente a quella ottenuta componendo la spinta stessa con i pesi dell'arco e*

*del solaio perimetrale. È tuttavia evidente che, anche se si riuscisse a determinare tale inclinazione in modo esatto, si avrebbe sempre la possibilità di sensibili scostamenti da essa per effetto dei sovraccarichi accidentali; nasce quindi la necessità di un elemento resistente orizzontale capace di assorbire il più o il meno della componente orizzontale del sistema; tale compito è affidato ai solai perimetrali che, opportunamente rinforzati, costituiscono un efficacissimo irrigidimento lungo il perimetro della volta.*

*Se il sistema statico nelle sue linee schematiche è semplice e chiaro, non altrettanto è il problema del calcolo qualora lo si voglia affrontare con un certo amore di esattezza teorica. Infatti non solo è già complicata l'indagine del funzionamento statico della volta che, per il suo spessore, non può assimilarsi ad una membrana, ma difficoltà praticamente insuperabili si incontrano qualora si voglia considerare la collaborazione elastica della volta e del relativo sistema di appoggio costituito dagli archi e dalle travi [8].*

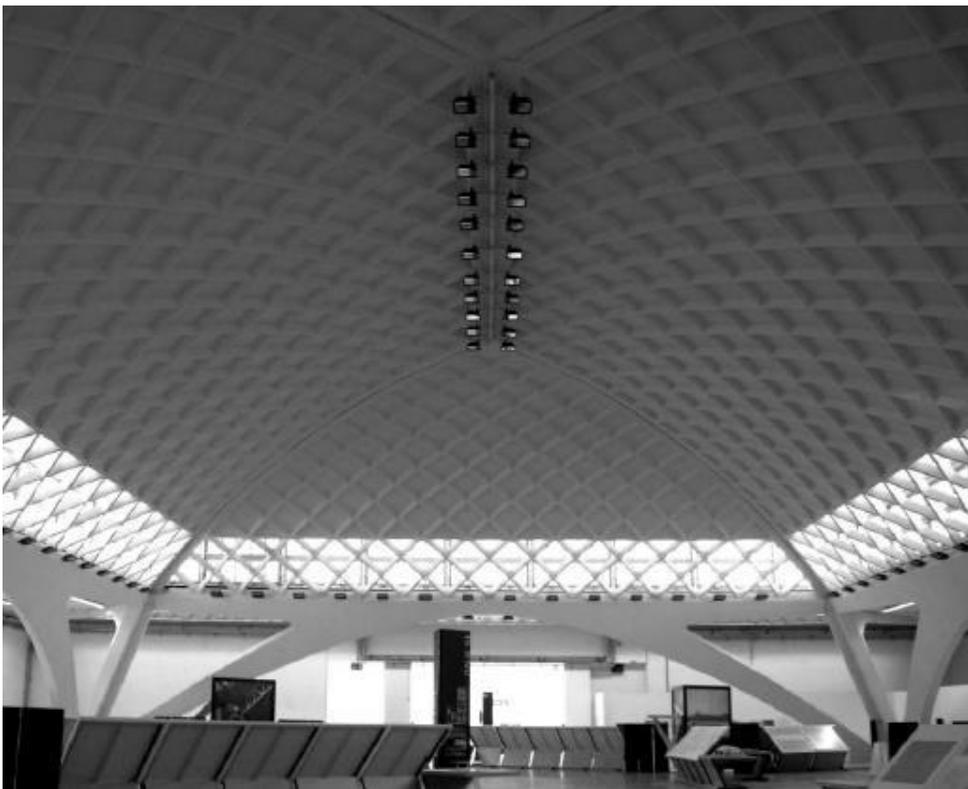


Figura 3.4 Veduta interna del salone C

*“Ancora una volta mi è quindi occorso di avere a che fare con strutture che, pur avendo una evidente ed organica capacità resistente, presentano una così complicata iperstaticità da rendere praticamente impossibile la soluzione analitica del sistema statico, considerato nel suo complesso. Si aggiunga che tale soluzione, anche se raggiunta a costo di interminabili sviluppi, sarebbe, fatalmente, di valore più apparente che reale. Infatti i cedimenti elastici dovuti alla inevitabile successione costruttiva delle varie parti dell'opera (archi, solai, volta); quelle non prevedibili delle armature provvisorie in fase di costruzione e ad indurimenti iniziali; le diverse stagionature di parti tra loro collaboranti e i relativi differenti moduli elastici; i parziali disarmi prematuri dovuti al disaccordo tra le dilatazioni termiche della struttura e quelle dei ponteggi, vengono a creare un così complicato insieme di messe in carico, di ineguali deformabilità di stati anormali di sollecitazioni, da portare l'effettivo stato statico della struttura reale a ben grande distanza da quello corrispondente alle ipotesi di perfetta elasticità e di contemporanea messa in carico che stanno alla base di qualsiasi*

*trattazione teorica. Nel caso in questione la volta è stata calcolata sia come volta sottile a membrana, sia come formata da archi elementari ognuno resistente per conto proprio.*

*Il proporzionamento delle sezioni è il risultato di un ragionamento di approssimazione intermedia; gli archi, la reazione orizzontale dei solai e quindi il rafforzamento di essi sono stati verificati per l'una e l'altra ipotesi in base a ragionamenti, considerazioni e tentativi di indagare e capire la effettiva vita statica del sistema che sarebbe troppo lungo e difficile esporre in modo chiaro. Il risultato ottenuto ha dimostrato la sostanziale bontà del metodo. Le frecce a disarmo, misurate con 75 flessimetri, sono state regolarissime e molto limitate, raggiungendo nel centro della volta il valore massimo di circa 9 mm. Tutta la costruzione esaminata con la più scrupolosa accuratezza è risultata perfettamente integra, priva anche di quelle lesioni capillari così comuni per le grandi strutture in cemento armato; in sostanza credo di poter affermare che l'opera è riuscita staticamente sana e di ottima funzionalità statica. La costruzione ha potuto realizzarsi nel breve termine concesso e al sicuro dalle incertezze stagionali, grazie alla prefabbricazione dei solai perimetrali, della volta e della copertura della galleria di accesso. Gli elementi di queste strutture sono stati infatti preparati nel grande salone di sottopiano mentre, contemporaneamente, venivano eseguiti gli scavi, i grandi blocchi di fondazioni, gli arconi e le murature perimetrali. I montaggi sono stati molto rapidi e semplici; gli elementi della volta sono stati messi in opera in 3 giorni. Come risulta dalle allegate fotografie i solai perimetrali sono costituiti da travi ondulate in ferro-cemento affiancate le une alle altre e collegate superiormente con una soletta [8]”.*

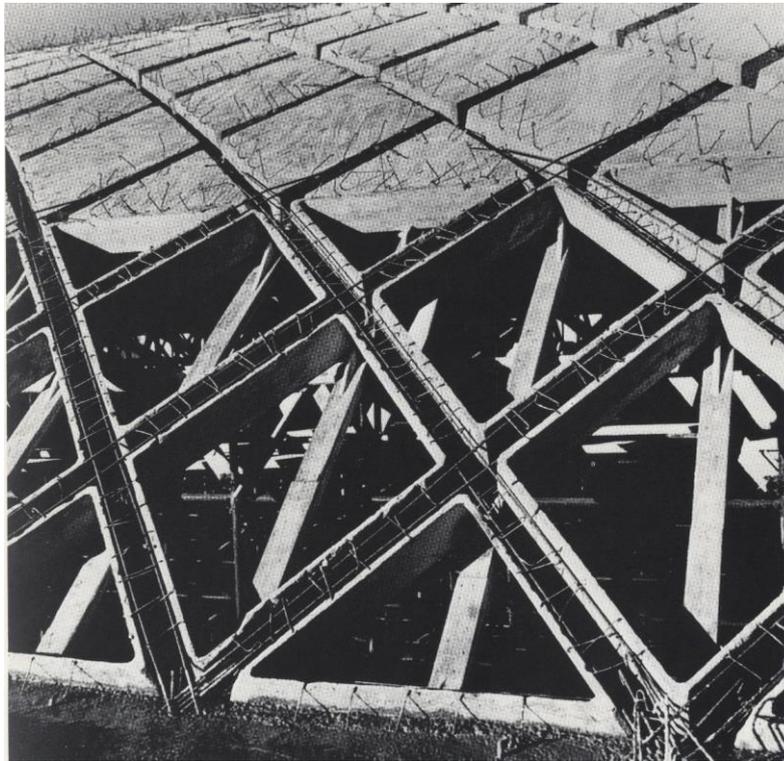


Figura 3.5 Montaggio dei tavelloni romboidali della volta del salone C

*“Le travi ondulate sono state costruite su forme in cemento, che hanno permesso di ottenere superfici esterne di una precisione e perfezione quale difficilmente si sarebbe ottenuta con il più accurato intonaco. Anche gli elementi della volta e quelli della galleria di accesso sono stati costruiti su forme di cemento. Tanto il sistema costruttivo dei solai perimetrali quanto quello della volta e della galleria (basati, come quelli impiegati per il grande salone, su brevetti dello scrivente), hanno risposto molto bene allo scopo ed hanno dimostrato concreti*

*vantaggi particolarmente come rapidità e precisione di rifiniture. A mio modo di vedere entrambi hanno inoltre il grande merito di svincolare il cemento armato dalla schiavitù della cassaforma in legname e di aprire nuovi ed illimitati campi alla fantasia progettuale statico-architettonica. Dal punto di vista economico si può osservare che tutti i procedimenti costruttivi a base di prefabbricazioni sono tanto più vantaggiosi quanto maggiore è il numero dei pezzi da prefabbricare e quindi proporzionalmente minori le spese, non recuperabili, per preparazione forme, attrezzatura meccanica di sollevamento, dispositivi ed apparecchiature di posa in opera. Per il salone C il rendimento del sistema prefabbricativo è stato notevolmente peggiorato dalla eccessiva fretta che ha costretto ad un gran numero di forme rimaste insufficientemente sfruttate. Si deve anche notare che esiste una sensibile differenza economica tra la prefabbricazione fatta in estate e quella in inverno, per il rallentamento di indurimento provocato dalla bassa temperatura e per la conseguente necessità di maggior numero di forme. Nel nostro caso è stato anche necessario ricorrere ad un riscaldamento dell'ambiente, ottenuto con due stufe di circostanza, il cui consumo è stato tutt'altro che trascurabile.*

*Ad ogni modo, a parte i caratteristici pregi di libertà progettuale e rapidità esecutiva, si può ritenere che questi sistemi equivalgono economicamente ai tradizionali per strutture di dimensioni analoghe a quelle di T. E., salvo a diventare decisamente più convenienti per dimensioni maggiori.*

*Anche per questo salone come per i precedenti la direzione dei lavori è stata affidata all'egregio Ing. Bonadè-Bottino coadiuvato dall'Ing. Luigi Ravelli [8].”*

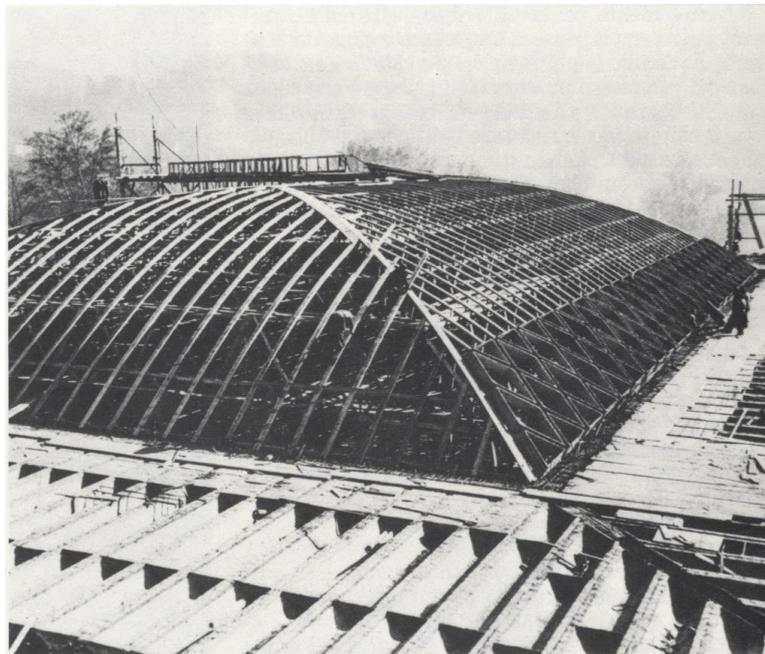


Figura 3.6 Cantiere del salone C

### 3.5 Il modello FEM adottato

Come si evince dalla descrizione precedente, a cura dello stesso Nervi, il salone C presenta una serie di caratteristiche e criticità che lo rendono una struttura dotata di un comportamento difficilmente descrivibile dagli schemi classici della scienza delle costruzioni. Volendone quindi indagare nel dettaglio il comportamento degli elementi costituenti sia in campo statico che dinamico occorre predisporre un opportuno modello agli elementi finiti. Questa metodologia di lavoro ben si presta allo studio di strutture dotate di elevata iperstaticità, poiché viene affidato al calcolatore elettronico il compito di risolvere il gran numero di sistemi di equazioni che governano l'equilibrio del sistema.

Nell'ambito di un precedente lavoro di tesi [1], che prevedeva lo studio del posizionamento ottimale di sensori per il monitoraggio strutturale, è stato preparato un modello geometrico della struttura mediante il software AutoCad, il risultato ottenuto è visibile in Figura 3.7. Tale modello è aderente quasi totalmente alla costruzione reale, con la differenza che i solai perimetrali ondulati, sono stati semplificati con un pacchetto equivalente piano a causa dei problemi computazionali e di mesh che generavano.

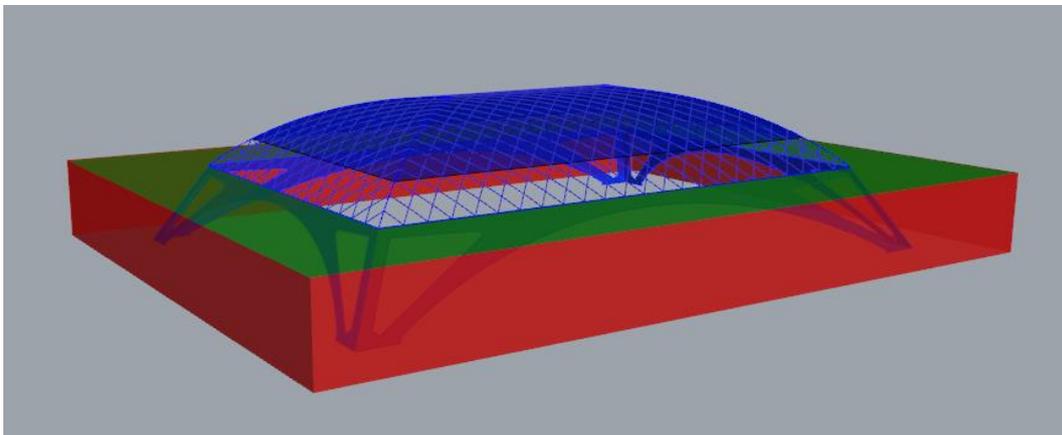


Figura 3.7 Modello geometrico del salone C

Il modello così costruito è stato esportato in formato "Parasolid", per poi essere caricato in Ansys. I parametri meccanici del modello FEM così ottenuto sono stati definiti secondo la Tabella 3.1.

Materiali	E [Gpa]	$\nu$	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
Cemento armato	30	0,2	2500
Ferrocemento	26,08	0,2	2200
Muratura	2	0,2	1100

Tabella 3.1 Caratteristiche meccaniche del modello FEM

Le caratteristiche dei vari materiali sono state ipotizzate attraverso valori di letteratura ricavati durante la fase conoscitiva del manufatto. Il modello ottenuto è composto da 12633 elementi "shell", utilizzati per modellare gli arconi (data la loro particolare

conformazione geometrica), il solaio perimetrale equivalente, i tavelloni romboidali della volta e le tamponature perimetrali; mentre 6520 elementi “beam” sono stati impiegati per tutte le travi, i pilastri e le nervature della volta a padiglione. Si riporta in seguito una breve descrizione delle caratteristiche degli elementi utilizzati tratta dalle linee guida del software [9]:

- SHELL 181: elemento finito a quattro nodi con sei gradi di libertà per ciascun nodo: traslazione nelle direzioni X, Y, Z e rotazioni attorno agli assi X, Y, Z. Si presta bene per l’analisi lineare o non lineare di strutture a guscio di moderato spessore, garantendo sia un comportamento flessionale che membranale. La Figura 3.8 mostra la geometria, la posizione dei nodi ed il sistema di coordinate per questo elemento.

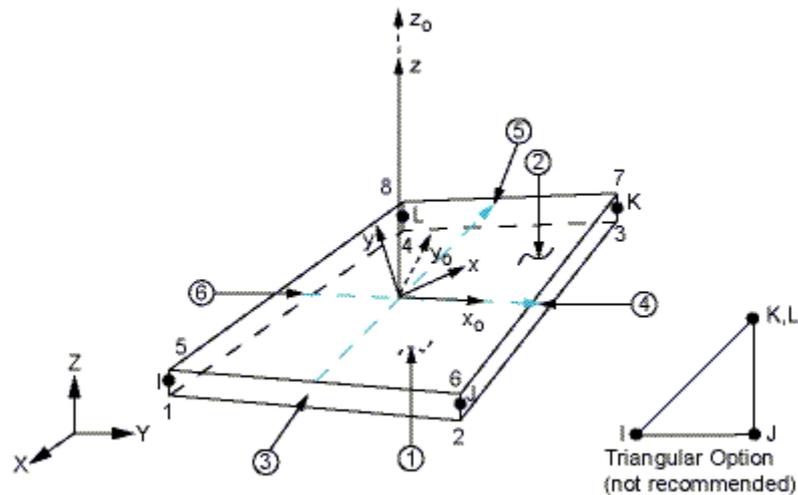


Figura 3.8 Elemento shell 181 a 4 nodi

- BEAM 188: elemento basato sulla teoria della trave di Timoshenko, nella quale si includono gli effetti di deformabilità a taglio. Si tratta di un elemento a due nodi, con sei o sette gradi di libertà per ogni nodo: traslazione nelle direzioni X, Y, Z e rotazioni attorno agli assi X, Y, Z; il settimo grado di libertà detto “warping magnitude” è opzionale. Viene ampiamente utilizzato nei software di calcolo ad elementi finiti per la modellazione di travi snelle o tozze.

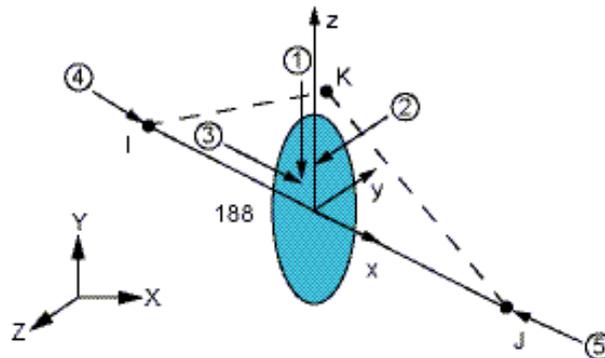


Figura 3.9 Elemento beam 188

Nelle figure seguenti viene riportato il modello FEM caricato in Ansys.

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

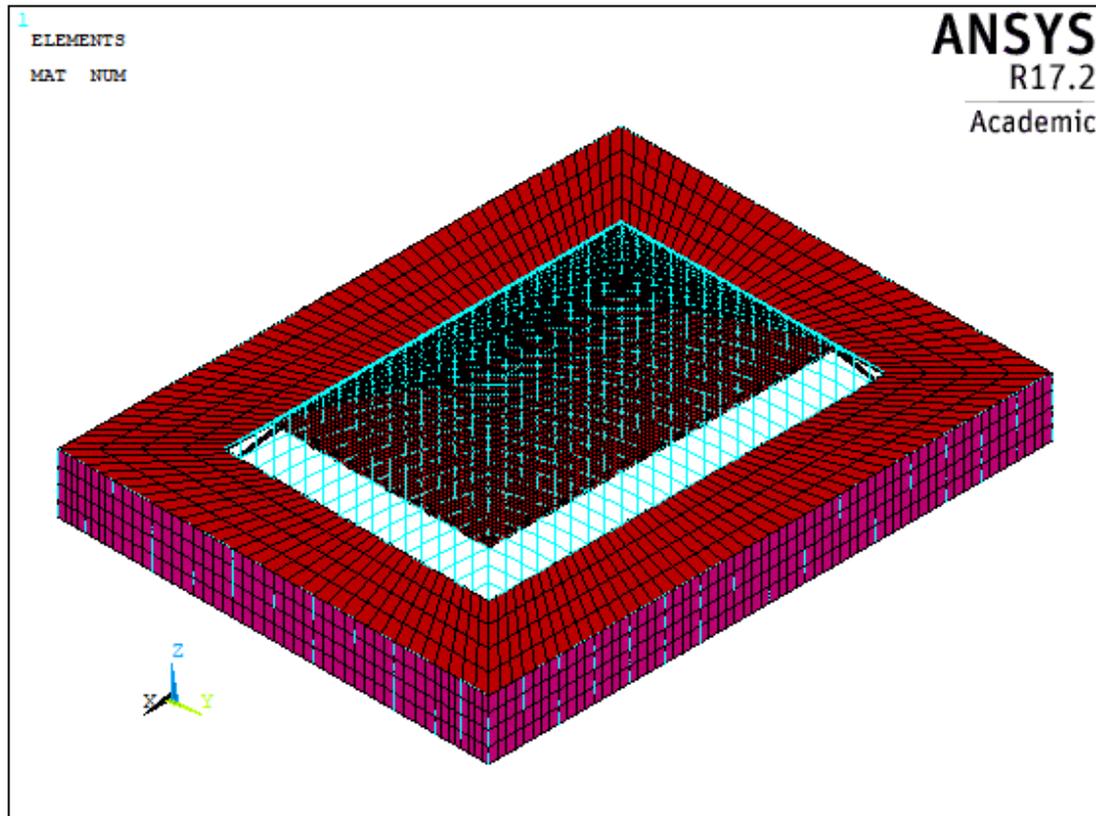


Figura 3.10 Vista assometrica del modello con murature di tamponamento

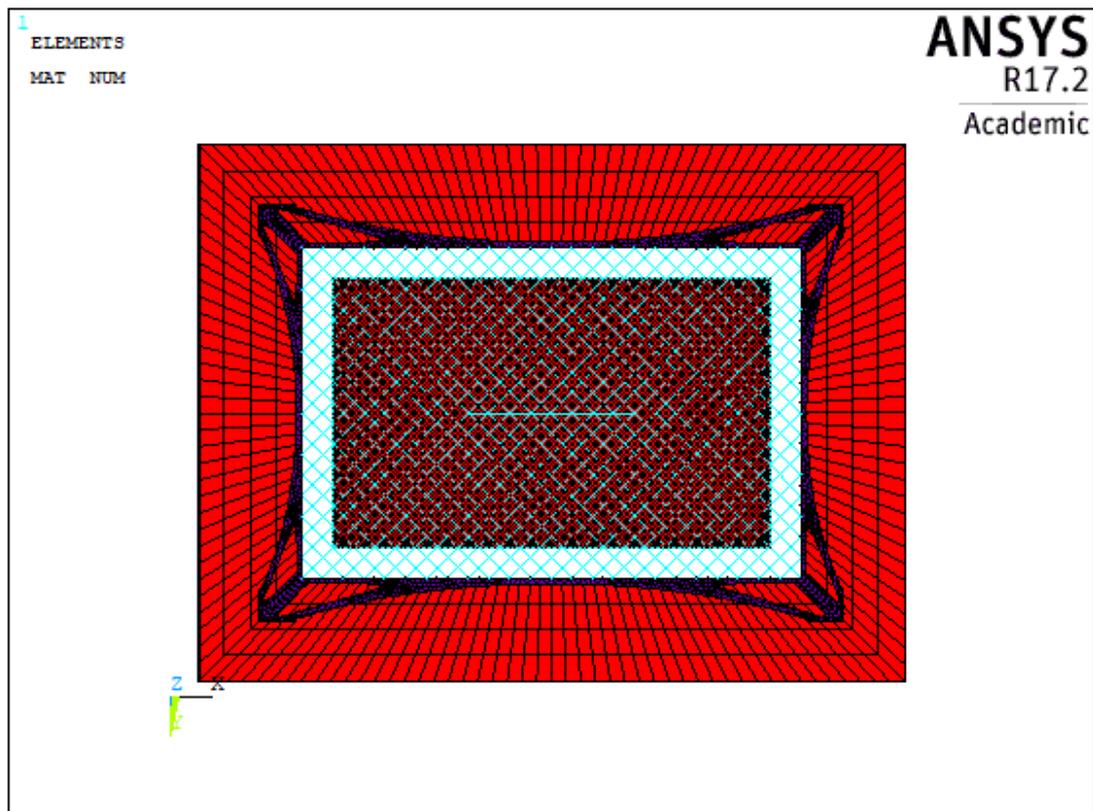


Figura 3.11 Vista dal basso del modello FEM con murature di tamponamento

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

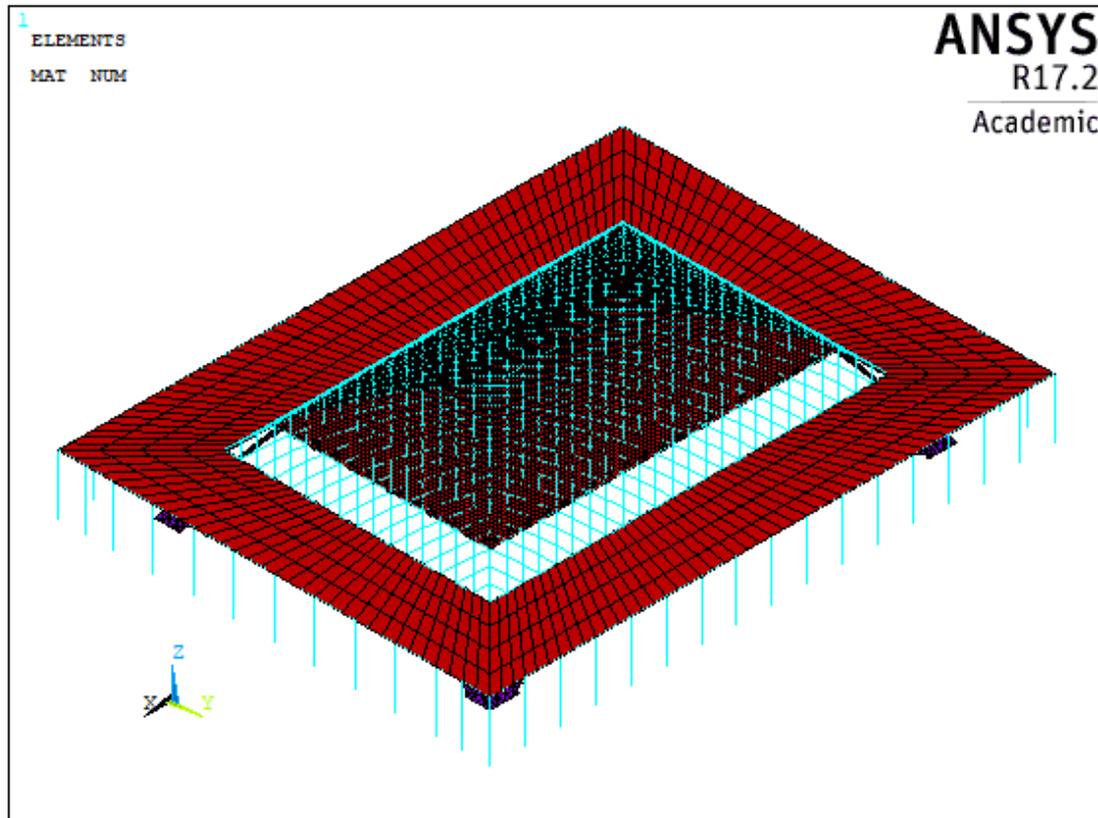


Figura 3.12 Vista assometrica del modello senza murature di tamponamento

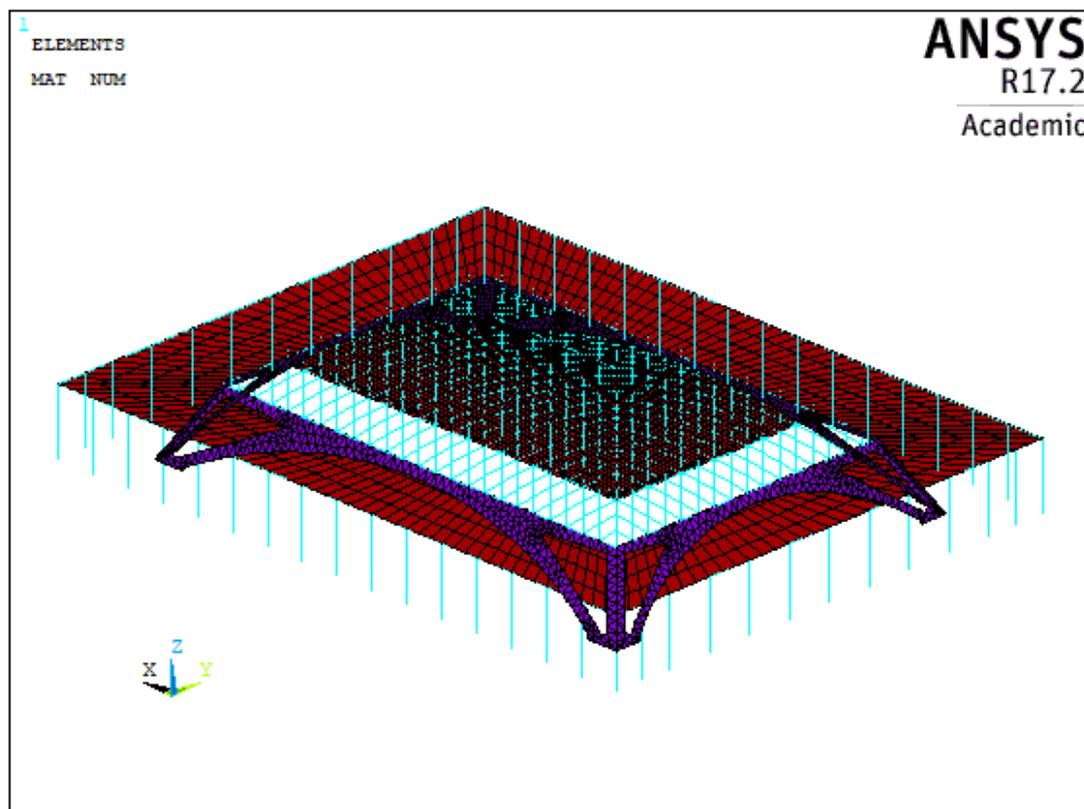


Figura 3.13 Vista assometrica dal basso del modello senza murature di tamponamento

### 3.6 Metodologia di analisi

La metodologia di analisi da adottare prescinde dal livello di conoscenza della struttura, nel caso in esame non sono stati effettuati prelievi di materiale né tanto meno si conosce l'esatta posizione e quantità delle armature di rinforzo. I dati geometrici e meccanici utilizzati provengono dalle relazioni tecniche effettuate dal progettista, dai disegni di progetto predisposti per la fase esecutiva (anche se incompleti poiché in parte perduti), dalla normativa vigente all'epoca di costruzione e da analisi storico statistiche dei materiali utilizzati negli'anni della costruzione. In accordo a quanto prescritto in normativa, tali elementi non sono sufficienti per raggiungere il primo livello di conoscenza (LC1), tuttavia è stato utilizzato ugualmente tale livello, adottando ulteriori misure cautelative per la definizione dei dati di Input.

A causa della scarsità di dati disponibili è stata scelta un'analisi di tipo lineare. In particolare si è optato per l'analisi dinamica lineare con spettro di risposta (NTC08 §7.3.3.1), poiché adottare un'analisi statica lineare secondo la metodologia riportata in normativa (NTC08 §7.3.3.2) risultava essere praticamente impossibile per via della mancanza dei presupposti adatti per la sua applicabilità. La struttura infatti presenta una distribuzione irregolare di masse e rigidità sia in pianta che in altezza. Pertanto la descrizione del comportamento dinamico della stessa non può essere riassunta da un solo modo di vibrare, ma piuttosto da una serie di essi che vadano a mobilitare quanta più massa possibile.

Per effettuare l'analisi è stato necessario implementare il processo di calcolo, creando un programma modulare basato sull'utilizzo congiunto del software FEM Ansys e di Matlab, per la fase finale di verifica è stato inoltre affiancato anche Excel. Tale processo si è reso necessario, poiché il software Ansys non ha implementato al suo interno la procedura di calcolo attualmente prescritta dalla normativa.

Il programma creato è rappresentato schematicamente mediante il flow chart di Figura 3.14. Vengono in seguito descritti i blocchi fondamentali che lo costituiscono.

- In prima battuta vengono riordinati i due modelli (con e senza muratura di tamponamento), poiché il software Ansys potrebbe definire casualmente l'identificativo di elementi e nodi, creando disordine nei file di output oltre che rendere impossibile l'elaborazione sequenziale dei dati. Tale procedura viene attuata mediante il comando NUMCMP.
- Viene lanciata l'analisi modale (lo smorzamento è stato assunto pari al 5%), in tal modo è possibile estrarre i dati necessari per valutare l'influenza di ogni modo di vibrare, selezionando quelli più opportuni. Verranno effettuate alcune considerazioni nel seguito.
- A partire dai modi selezionati è possibile esportare gli autovettori calcolati da Ansys, per poter essere elaborati separatamente in Matlab
- Parallelamente vengono generati gli spettri di progetto in Matlab a partire dai dati che caratterizzano la struttura, anche per questo punto verranno effettuate delle considerazioni nel seguito.

- La normativa prevede che l'analisi venga condotta combinando opportunamente gli spettri di progetto in direzione x, y e z (NTC08 §7.3.5), generando di fatto tre casi per ogni modello, perciò nel seguente caso occorre condurre l'analisi dei modi selezionati singolarmente per 6 volte (3 per il caso con muratura e 3 per il caso senza muratura). Grazie agli spettri precedentemente calcolati è possibile generare 3 output diversi per ognuno dei modi selezionati, attuando la procedura descritta in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** L'output consiste in un file contenete gli spostamenti nodali massimi da applicare al modello che verrà così risolto generando la risposta della struttura in termini di sollecitazioni.
- Ottenuta la soluzione del problema agli spostamenti imposta è possibile, previa definizione di apposite tabelle identificative in Ansys, l'esportazione di vettori contenenti le caratteristiche di sollecitazione da utilizzare per le verifiche strutturali degli elementi resistenti.
- Prima di effettuare le verifiche è necessario effettuare la combinazione dei risultati ottenuti, in questo caso è stato implementato il metodo CQC in Matlab, poiché il periodo di vibrazione di ciascun modo differisce meno del 10% rispetto tutti gl'altri (C. 7.3.3.1).
- È ora possibile sommare gli effetti dinamici ottenuti, in valore assoluto, andando così ad incrementare quelli provenienti dall'analisi statica, in accordo con la combinazione sismica (formula 2.5.5 - §2.5.3 NTC08).
- Dei vettori delle sollecitazioni così combinati vengono selezionate solo le righe corrispondenti agli elementi da verificare, mediante l'uso di Matlab.
- Infine vengono effettuate le verifiche in termini di resistenza a taglio, sforzo normale e momento flettente per gli elementi con comportamento a trave, mentre per gli elementi in ferrocemento viene effettuata una doppia verifica, sia come trave che in termini tensionali. Tale procedura è stata effettuata mediante fogli di calcolo Excel.
- NOTA: Le caratteristiche di sollecitazione degli elementi shell, come gli arconi, vengono forniti per unità di lunghezza, occorre per tanto risolvere preventivamente il problema geometrico per ogni elemento, al fine di definire opportunamente l'unità di lunghezza moltiplicativa per ogni elemento.

Tutti gli script Ansys e Matlab (con relativi commenti) necessari per implementare la procedura precedentemente esposta, sono riportati in Allegati A e Allegati B.

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

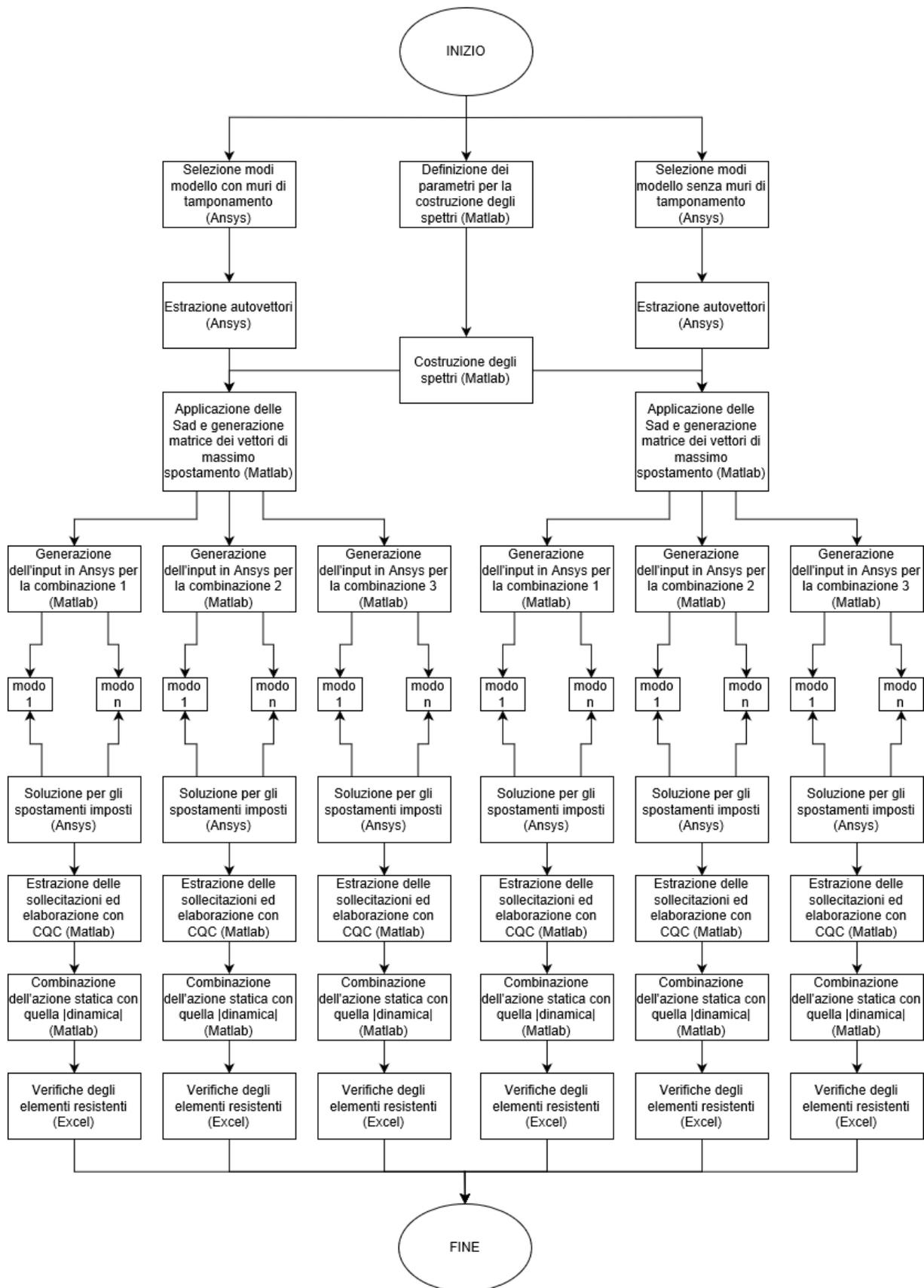


Figura 3.14 Flow chart del processo modulare di analisi condotto

### 3.6.1 Generazione degli spettri di progetto

La generazione degli spettri orizzontali e verticali di progetto è stata effettuata secondo quanto previsto da NTC08 al §3.2.3.2.1 e §3.2.3.2.2. I parametri utilizzati sono riassunti in Tabella 3.2.

<b>Classe d'uso</b>	IV
<b>Coefficiente d'uso - Cu [-]</b>	2
<b>Vita nominale <math>V_N</math> [y]</b>	50
<b>Periodo di riferimento - <math>V_r</math> [y]</b>	100
<b>Categoria del suolo</b>	C*
<b>Categoria topografica</b>	T1
<b>Latitudine [°]</b>	45,0468
<b>Longitudine [°]</b>	7,6959
<b>Fattore di struttura q [-]</b>	1
<b><math>\xi</math> [%]</b>	5
<b><math>PV_R</math> [%]</b>	10
<b>Tr [y]</b>	949

Tabella 3.2 Parametri per la generazione degli spettri elastici di progetto

La classe d'uso IV è giustificata dal fatto che si tratta di un edificio avente funzioni pubbliche. La vita nominale è stata scelta pari a 50 anni. Il sito è particolarmente pianeggiante perciò è stata attribuita la categoria topografica T1. La categoria di suolo è stata dedotta dai risultati di una prova penetrometrica (NSPT) condotta nelle vicinanze, la stratigrafia trovata per i primi 25m è riportata in Figura 3.15, mentre in Figura 3.16 è riportata l'ubicazione.

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9983975	3.00	ghiaia sabbiosa con ciottoli
9983975	3.20	ciottoli
9983975	4.80	ghiaia sabbiosa con frequenti ciottoli
9983975	5.00	ciottoli con ghiaia
9983975	10.00	sabbia e ghiaia; presenza di ciottoli
9983975	18.00	sabbia sciolta
9983975	25.00	ciottoli e sabbia

Figura 3.15 Stratigrafia sottosuolo nei pressi di Torino Esposizioni

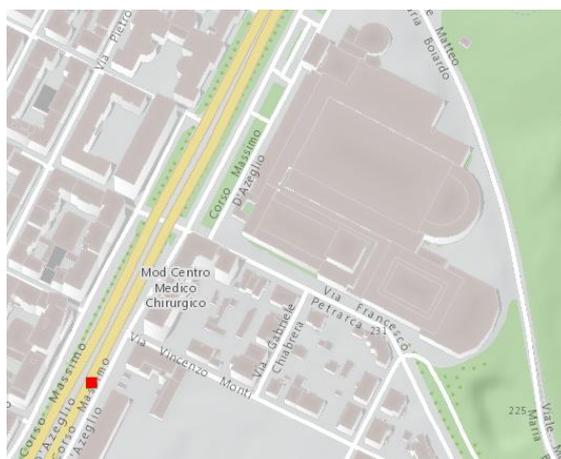


Figura 3.16 Ubicazione della prova di riferimento trovata, segnalata con un quadrato rosso

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

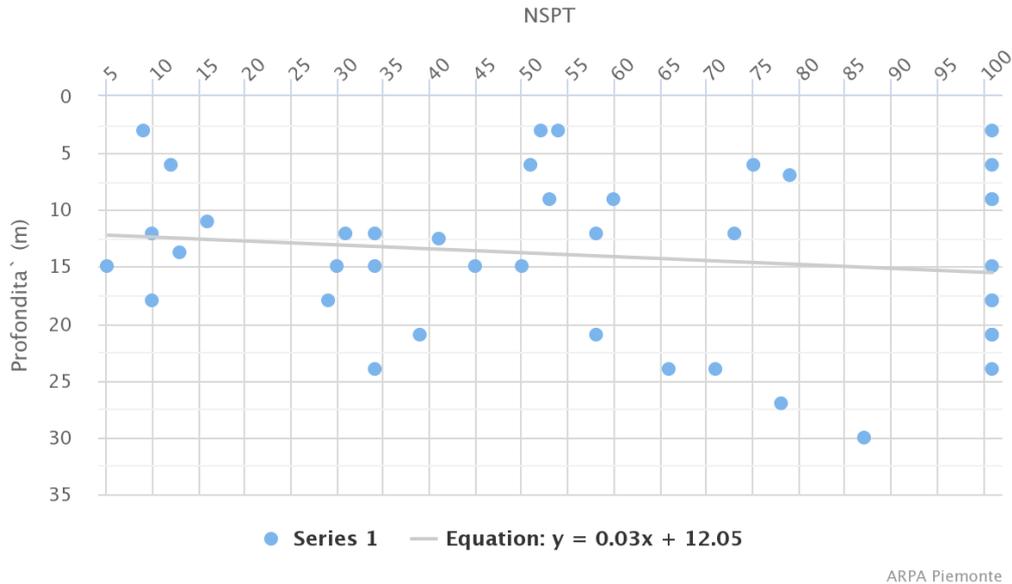


Grafico 3.1 Risultati della prova NSPT effettuata nelle vicinanze [10]

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1}^k h_i}{\sum_{i=1}^k N_{SPT,i}} = 27,52 \quad (3.1)$$

Dai dati ottenuti (Grafico 3.1) e successivamente elaborati mediante la (3.1) si ipotizza un suolo di categoria C, poiché  $15 < N_{SPT,30} < 50$ , tuttavia è stato aggiunto l'asterisco, poiché la prova andrebbe condotta direttamente sul sito oggetto di studio, a causa dell'imprevedibile variabilità del sottosuolo.

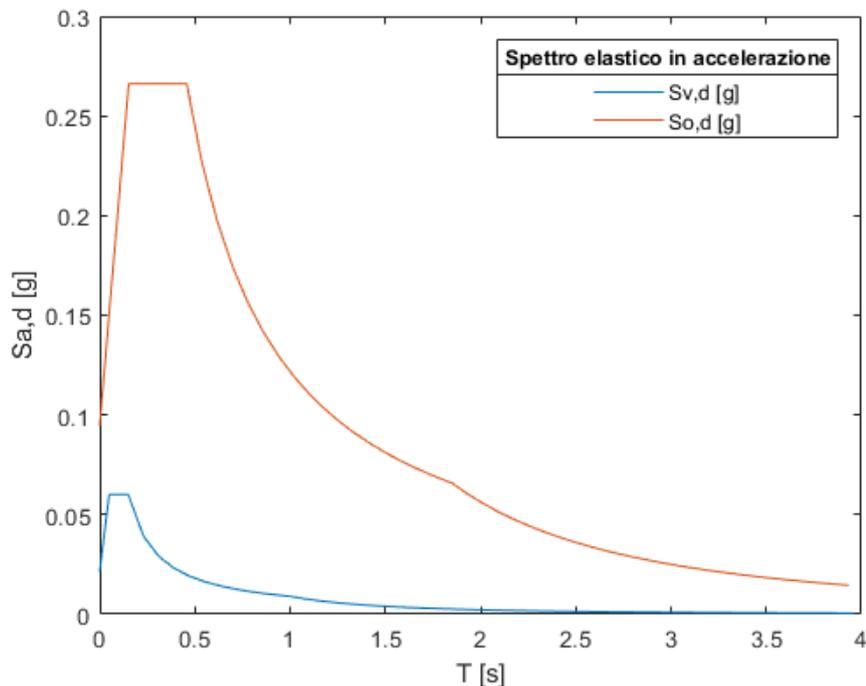


Grafico 3.2 Spettro elastico di progetto per il padiglione C

Altro parametro che influenza fortemente il possibile abbattimento dello spettro di progetto è il fattore di struttura. Per gli edifici rispondenti a schemi strutturali classici, è possibile far riferimento a quanto riportato in NTC08 §7.4.3.2, tuttavia per il caso studio non è possibile riferirsi a tali schemi, perciò occorrerebbe effettuare analisi pushover per determinare un valore più realistico. Tali analisi non sono al momento possibili a causa della scarsità di dati a disposizione, perciò cautelativamente il fattore di struttura è stato posto pari ad 1 sia per lo spettro orizzontale che per quello verticale. Ne risulta che lo spettro di progetto è lo spettro elastico. Il calcolo è stato effettuato con Matlab mediante la doppia interpolazione dei dati di normativa descritta in allegato alle NTC08, il risultato ottenuto è riportato nel Grafico 3.2, mentre negli Allegati B è possibile trovare lo script utilizzato per la generazione dei punti.

### 3.6.2 Modi Selezionati

Per identificare la risposta della struttura soggetta ad azioni dinamiche, è stata effettuata in ANSYS l'analisi modale, estraendo i primi 45 modi di vibrare. Data la particolare conformazione della stessa sono stati generati un gran numero di modi aventi massa partecipante molto bassa. Secondo quanto riportato in normativa occorrerebbe selezionarne in numero tale da poter superare l'85% della massa partecipante, tuttavia tale risultato non è stato raggiunto.

La selezione dei modi è stata invece condotta, in accordo a quanto proposto in [11], non solo in funzione della massa partecipante ma anche degli effetti locali che potevano determinare un incremento della vulnerabilità della struttura. Si riportano in seguito i dati dei modi di vibrare selezionati per i casi con e senza murature di tamponamento (Tabella 3.3 e Tabella 3.5).

n. Mode	f [Hz]	Modal Participation Factor			Ratio Eff. Mass to Total Mass		
		x - y - z	x	y	z	x	y
3	4,1938	0,695	-363,120	0,783	0,000	0,061	0,000
4	4,3642	-0,401	2,479	619,980	0,000	0,000	0,179
6	4,8069	511,620	12,593	23,337	0,122	0,000	0,000
7	4,8117	232,300	11,973	-251,290	0,025	0,000	0,029
8	4,8132	167,570	-5,342	281,220	0,013	0,000	0,037
9	4,8333	16,277	-649,300	-4,500	0,000	0,196	0,000
11	5,0288	1,615	598,300	0,137	0,000	0,167	0,000
14	5,2306	426,980	2,382	2,281	0,085	0,000	0,000
			<b>Sum</b>		<b>0,245</b>	<b>0,425</b>	<b>0,246</b>

Tabella 3.3 Dati correlati ai modi di vibrare selezionati (modello con muri di tamponamento)

n. Modo	Descrizione dei modi selezionati e identificazione degli elementi coinvolti
3	1° modo flessionale in Y: volta, archi, solai, muri
4	1° modo verticale: solai pensilina perimetrale lato lungo, volta, archi
6	1° modo flessionale in X: volta, archi, solai, muri
7	2° modo verticale: solai pensilina perimetrale lato corto, archi
8	2° modo flessionale in X: solai e muri
9	2° modo flessionale in Y: volta, archi, solai, muri
11	3° modo flessionale in Y: volta, archi, solai, muri
14	3° modo flessionale in X: volta, archi, solai, muri

Tabella 3.4 Descrizione dei modi di vibrare selezionati (modello con muri di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

<b>n. Mode</b>	<b>f [Hz]</b>	<b>Modal Participation Factor</b>			<b>Ratio Eff. Mass to Total Mass</b>		
<b>x - y - z</b>	<b>x - y - z</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
2	3,0508	-0,262	0,275	506,150	0,000	0,000	0,191
4	3,1643	-0,395	-0,274	348,500	0,000	0,000	0,090
23	4,7137	700,13	-31,836	-0,008	0,365	0,001	0,000
24	4,7361	23,021	-438,660	-1,148	0,000	0,143	0,000
25	4,7515	45,876	715,090	-0,559	0,002	0,380	0,000
31	5,5823	-0,506	1,027	-75,859	0,000	0,000	0,004
43	7,0804	-175,820	1,777	5,560	0,023	0,000	0,000
45	7,2301	1,228	0,129	400,440	0,000	0,000	0,119
				<b>Sum</b>	<b>0,390</b>	<b>0,524</b>	<b>0,404</b>

Tabella 3.5 Dati correlati ai modi di vibrare selezionati (modello senza muri di tamponamento)

<b>n. Modo</b>	<b>Descrizione dei modi selezionati ed identificazione degli elementi coinvolti</b>
2	Solai pensilina lato lungo
4	Solai pensilina lato corto
23	1° modo flessionale in X: archi lato corto
24	2° modo flessionale in Y: archi lato lungo
25	3° modo flessionale in Y: volta
31	2° modo verticale: archi
43	2° modo flessionale in X: volta
45	4° modo verticale: volta

Tabella 3.6 Descrizione dei modi di vibrare selezionati (modello senza muri di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

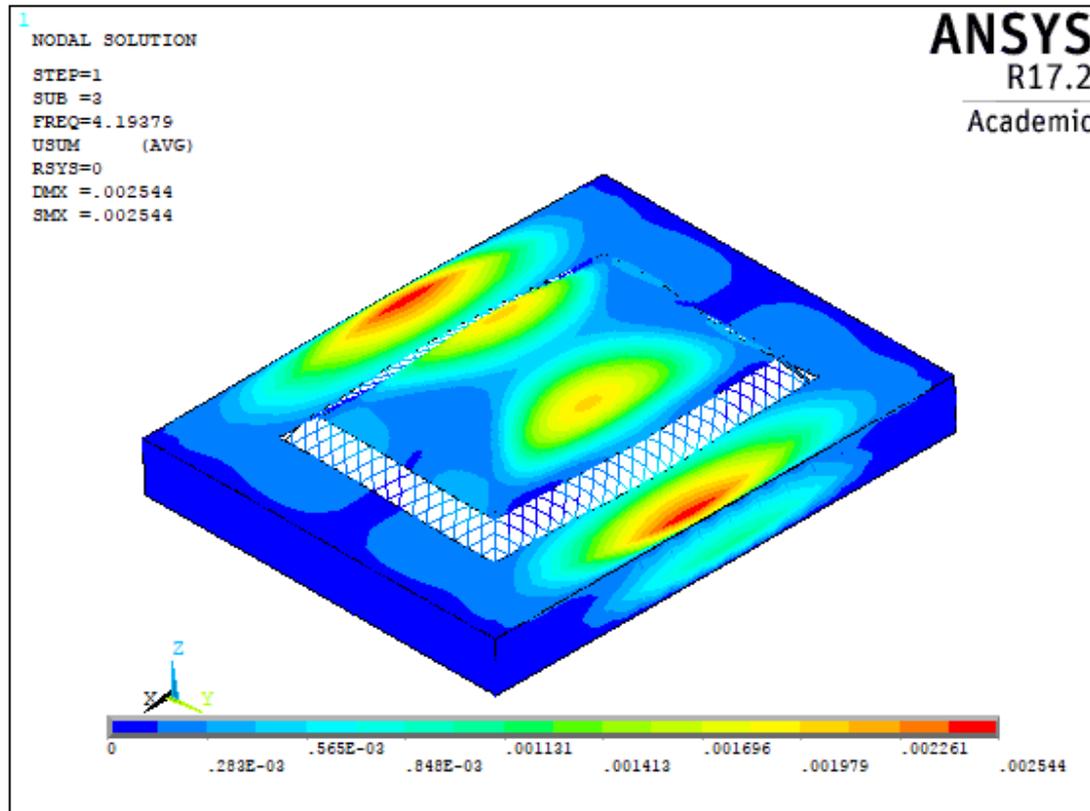


Figura 3.17 Terzo modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

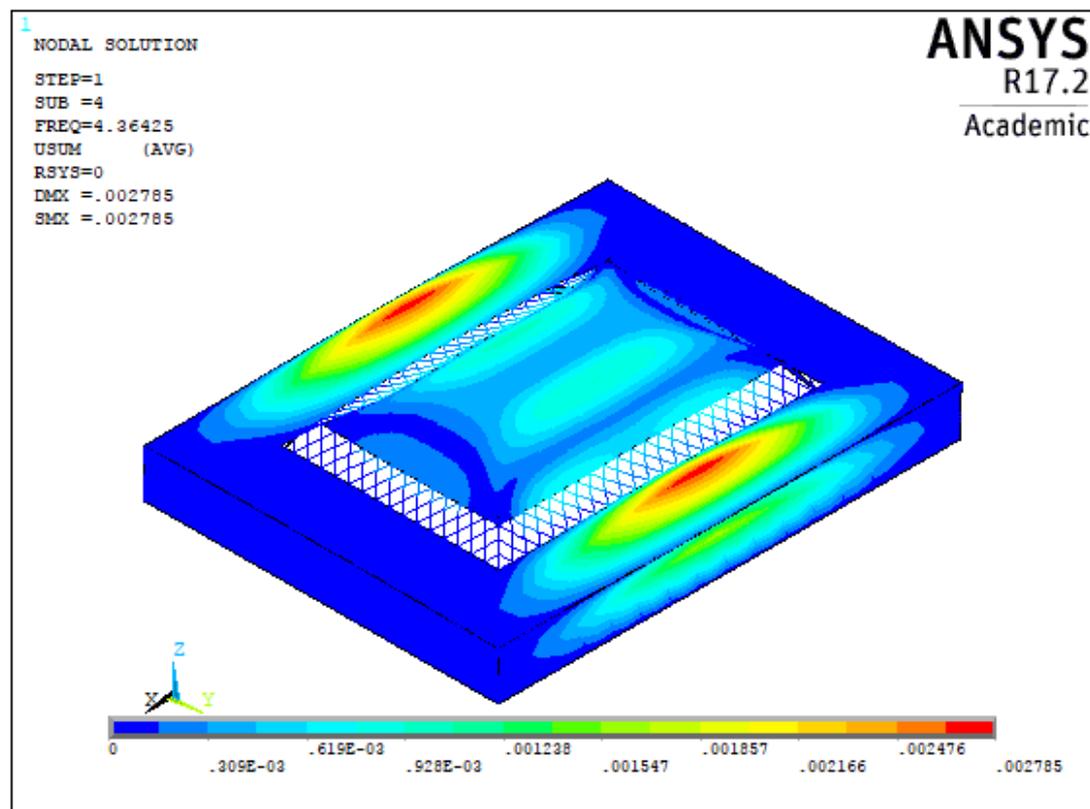


Figura 3.18 Quarto modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

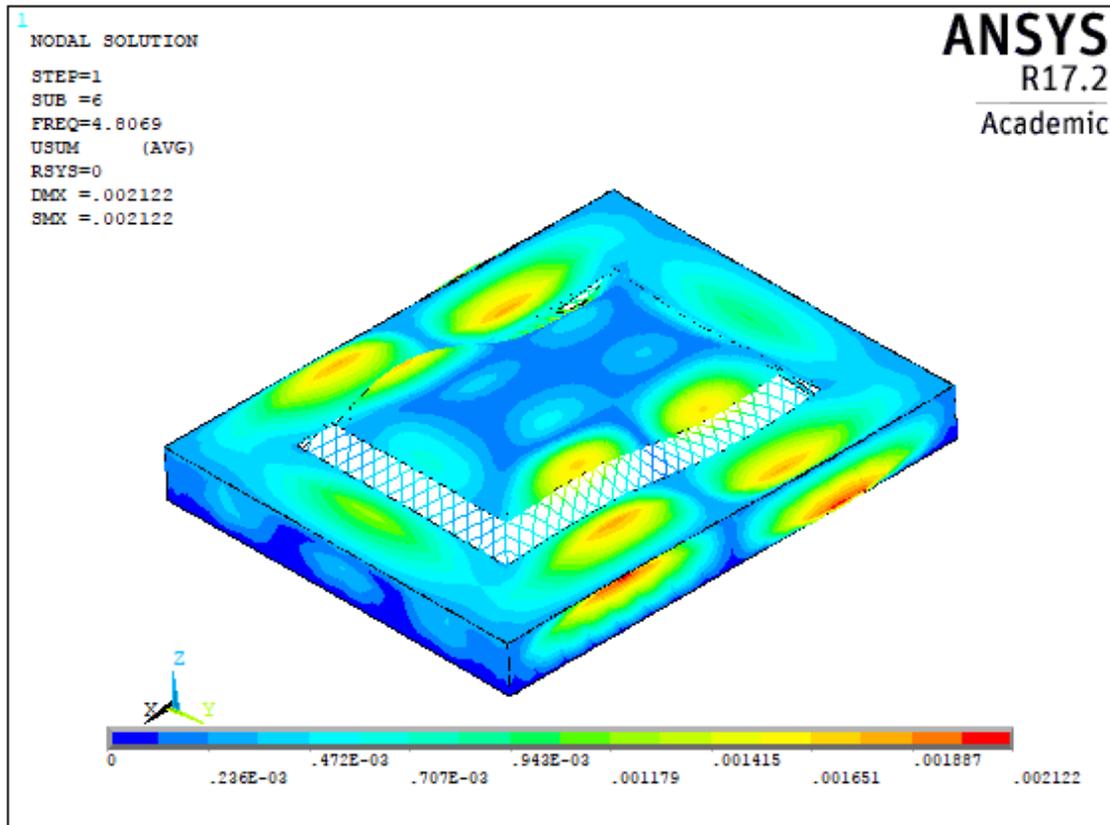


Figura 3.19 Sesto modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

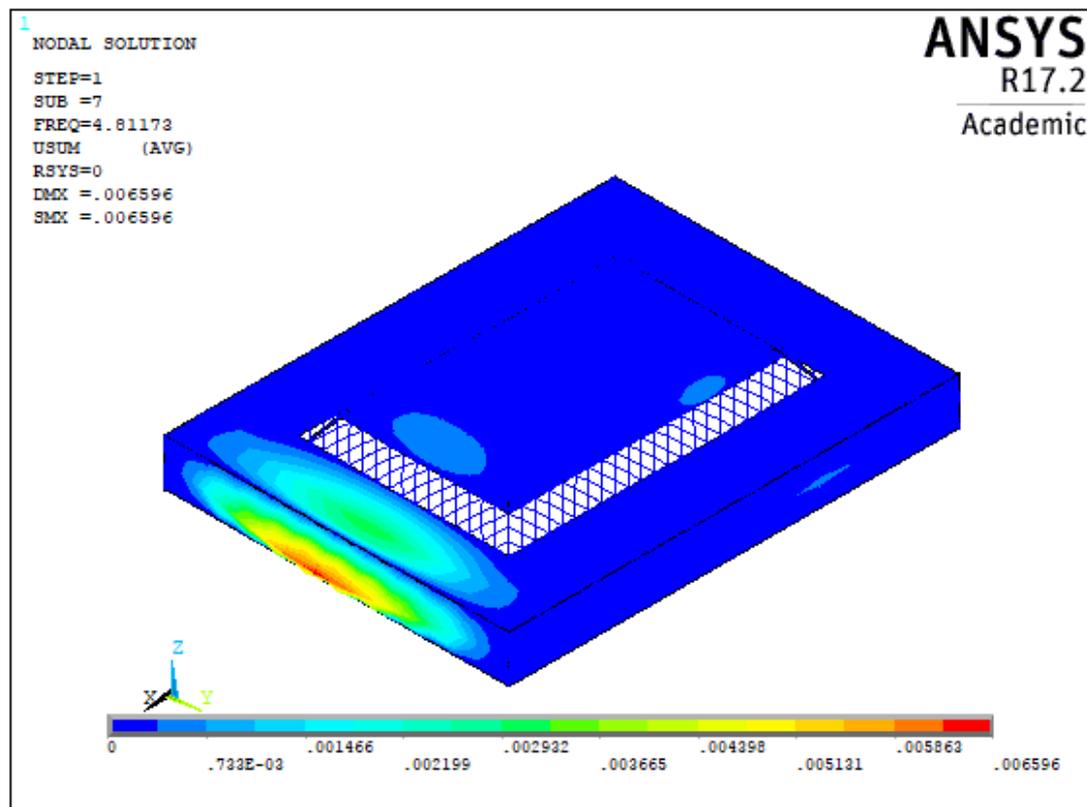


Figura 3.20 Settimo modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

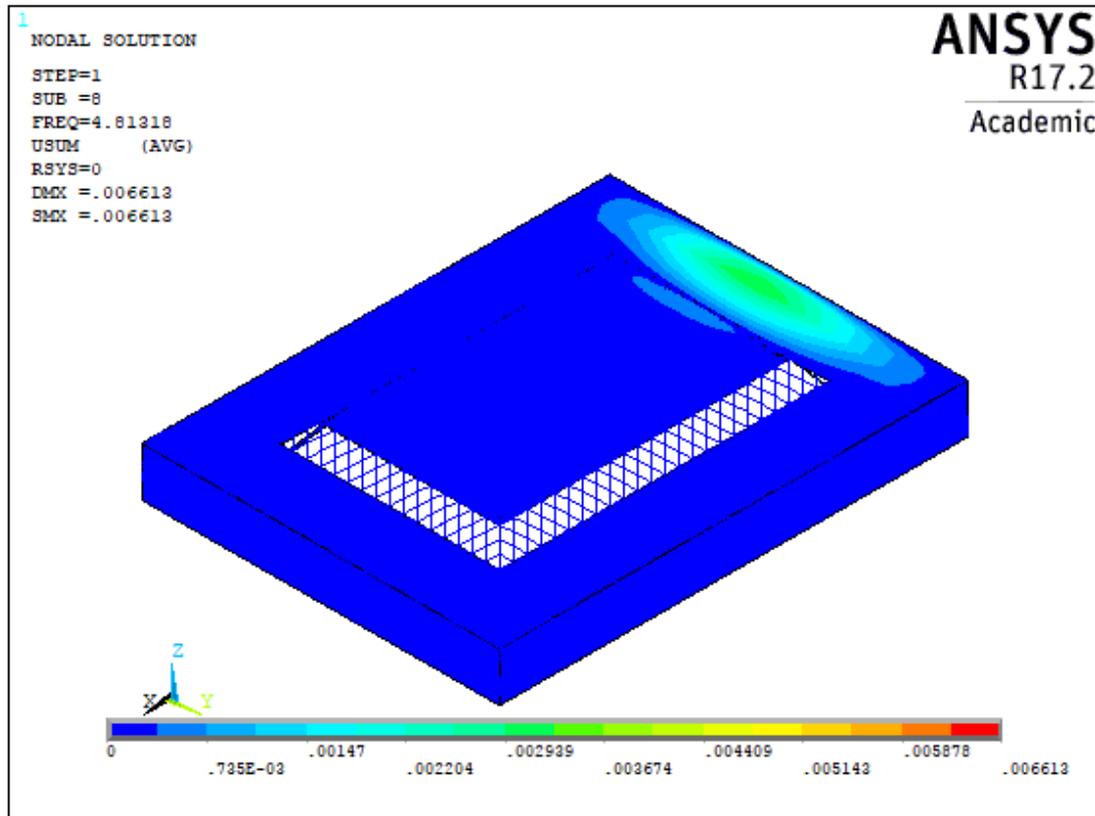


Figura 3.21 Ottavo modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

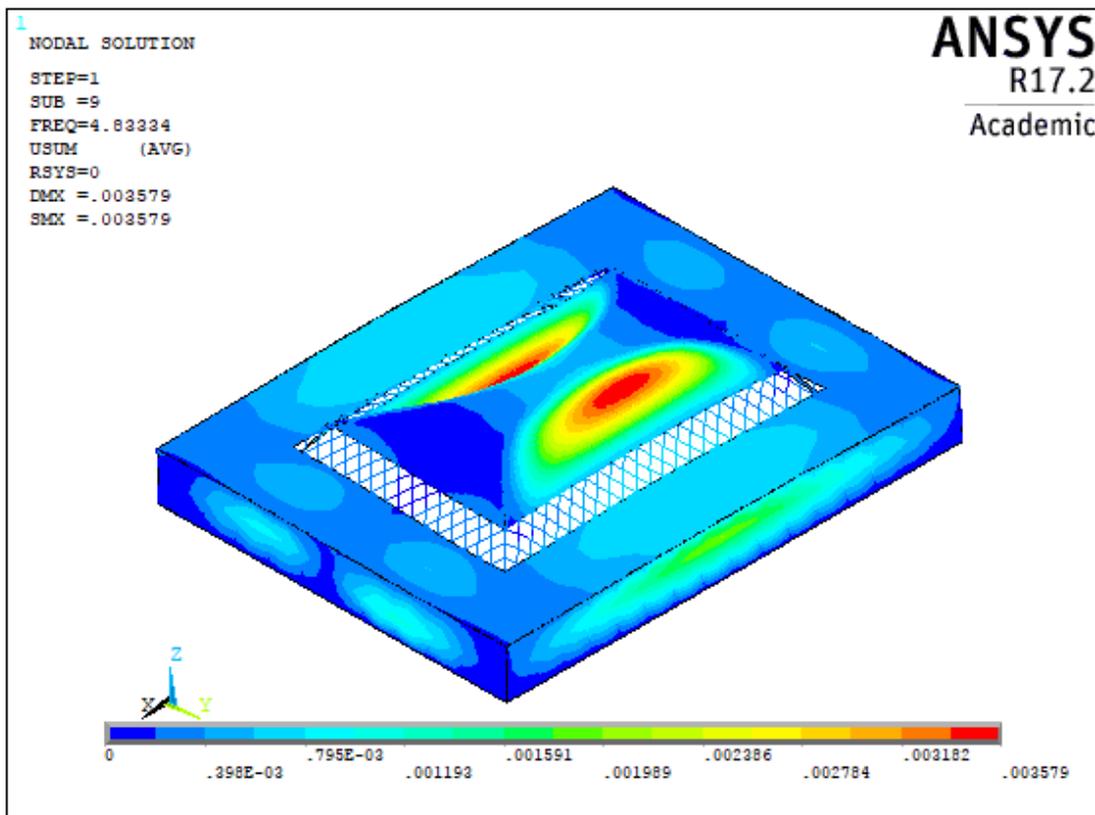


Figura 3.22 Nono modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

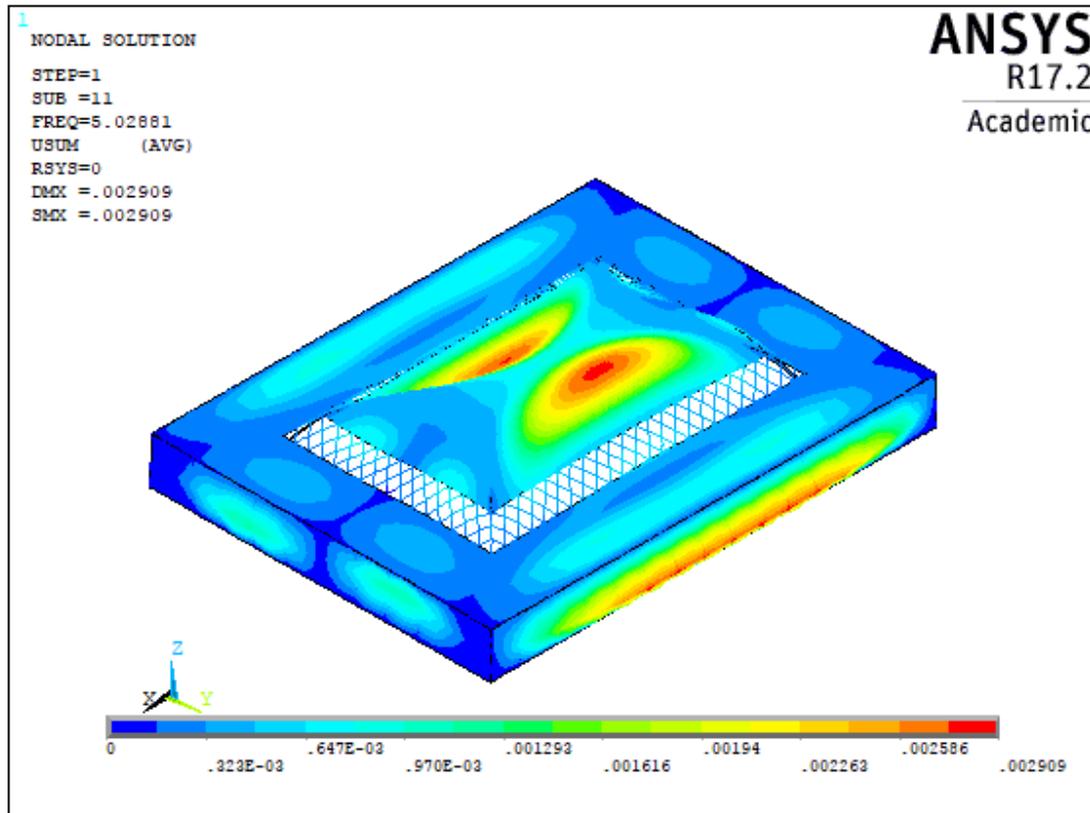


Figura 3.23 Undicesimo modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

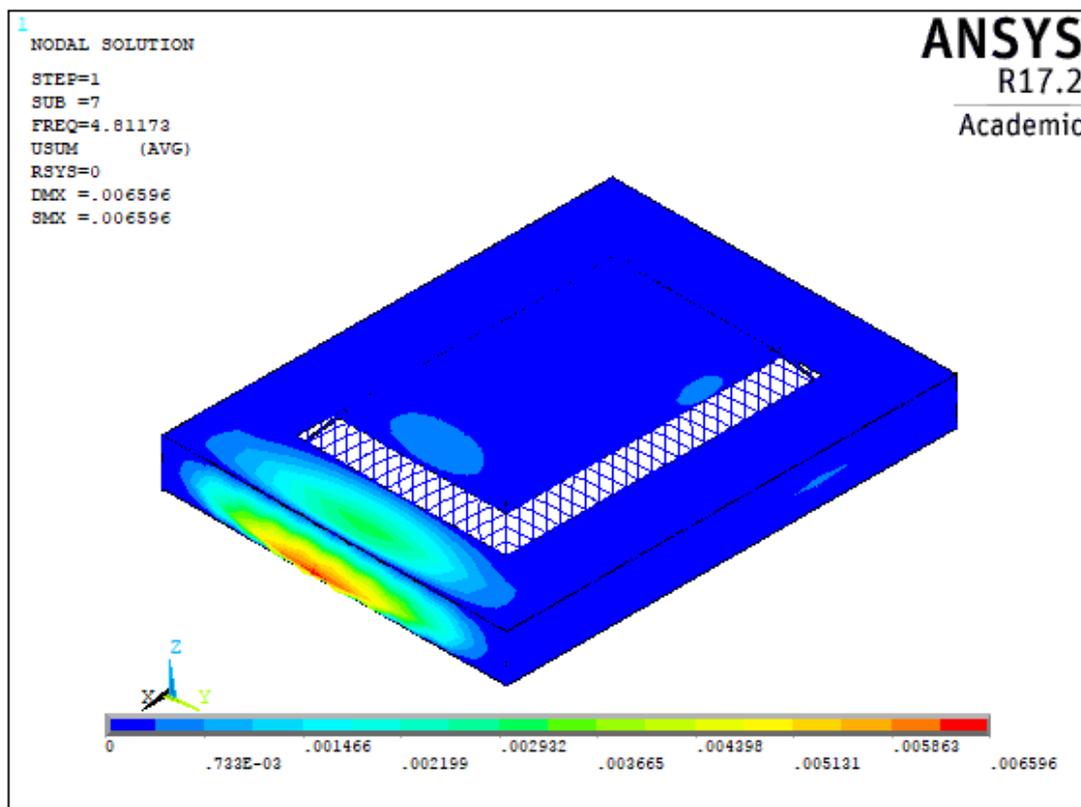


Figura 3.24 Quattordicesimo modo di vibrare (modello con muratura di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

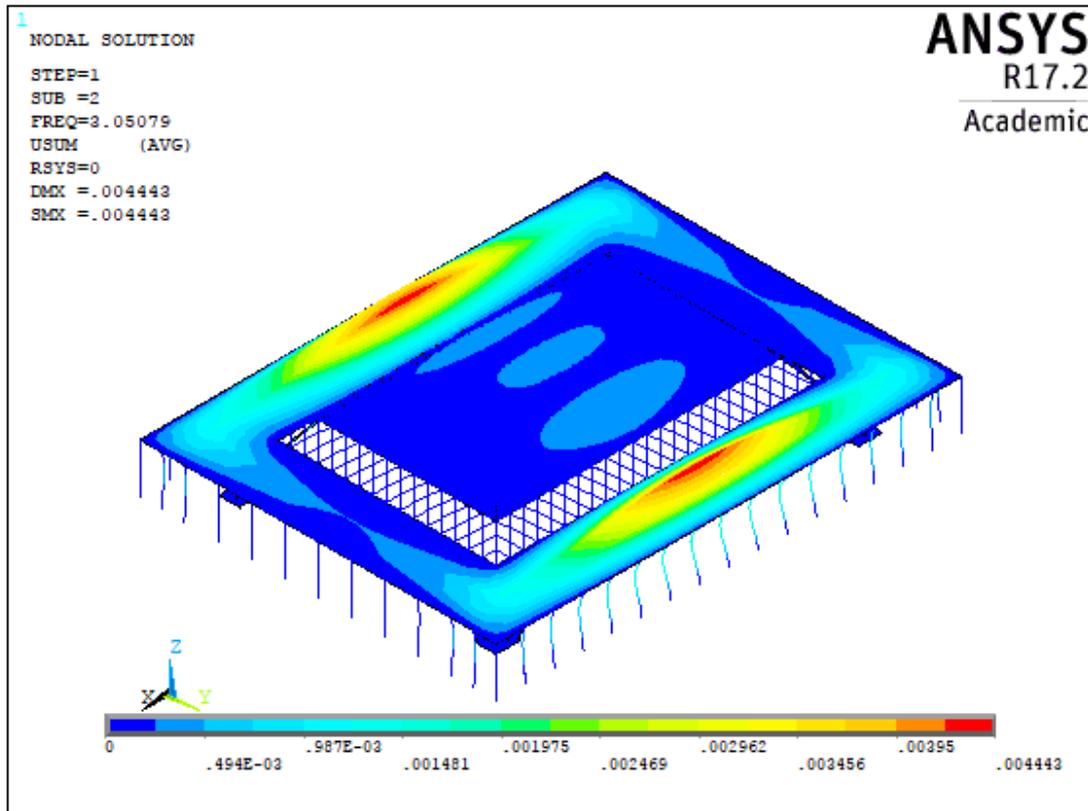


Figura 3.25 Secondo modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

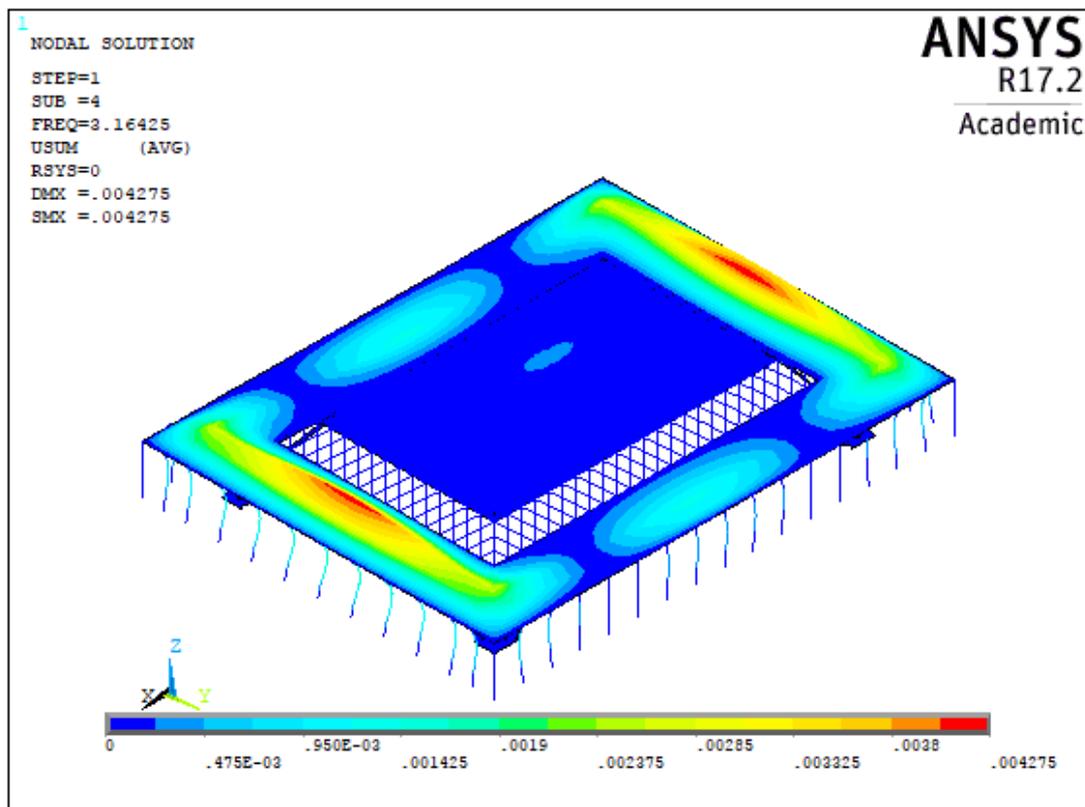


Figura 3.26 Quarto modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

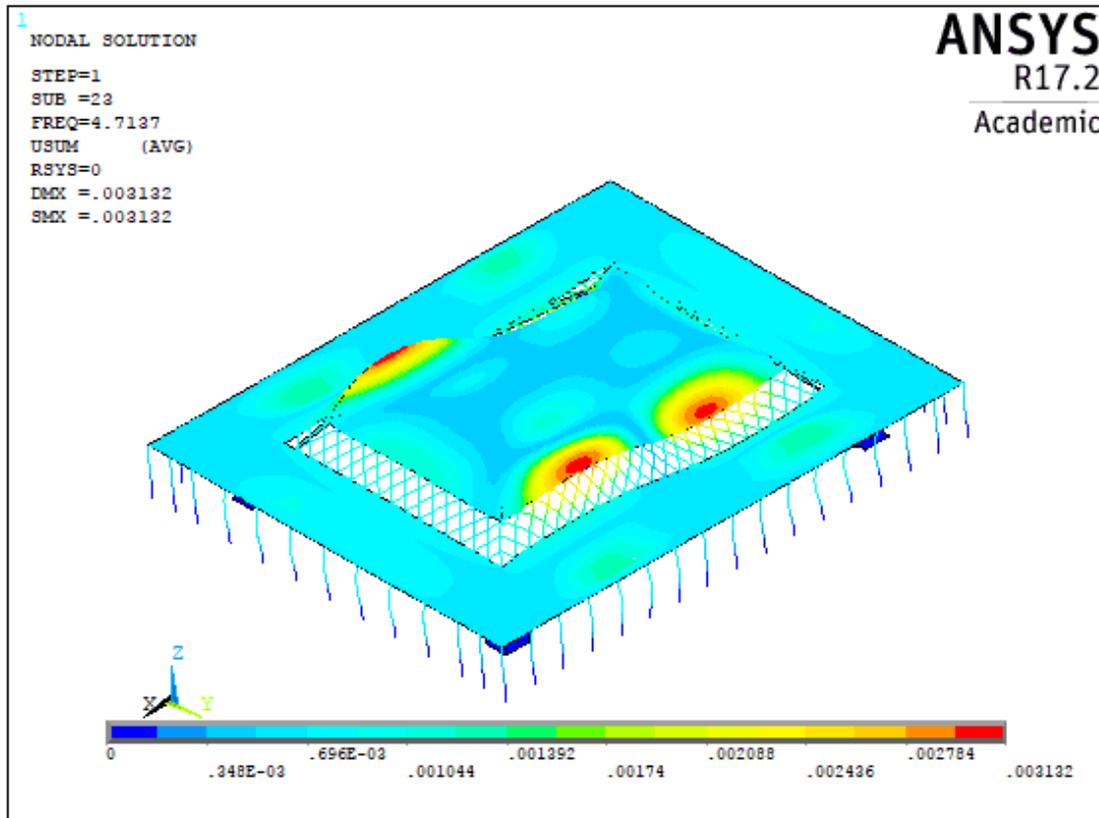


Figura 3.27 Ventitreesimo modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

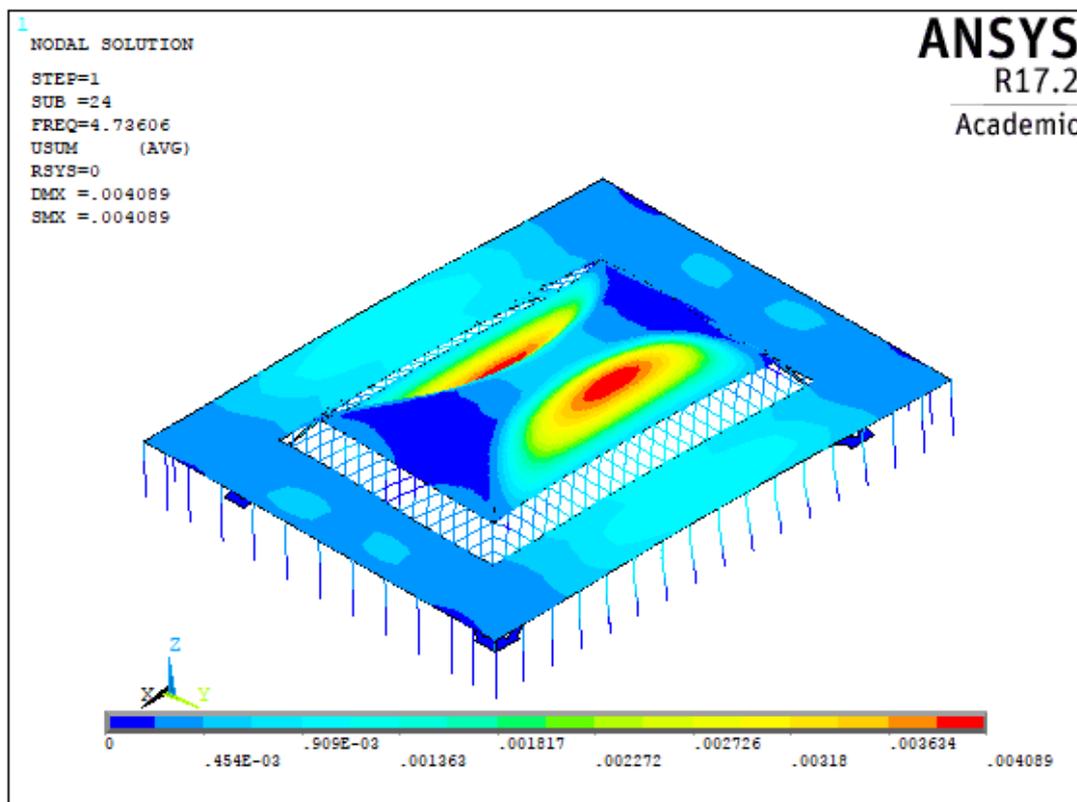


Figura 3.28 Ventiquattresimo modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

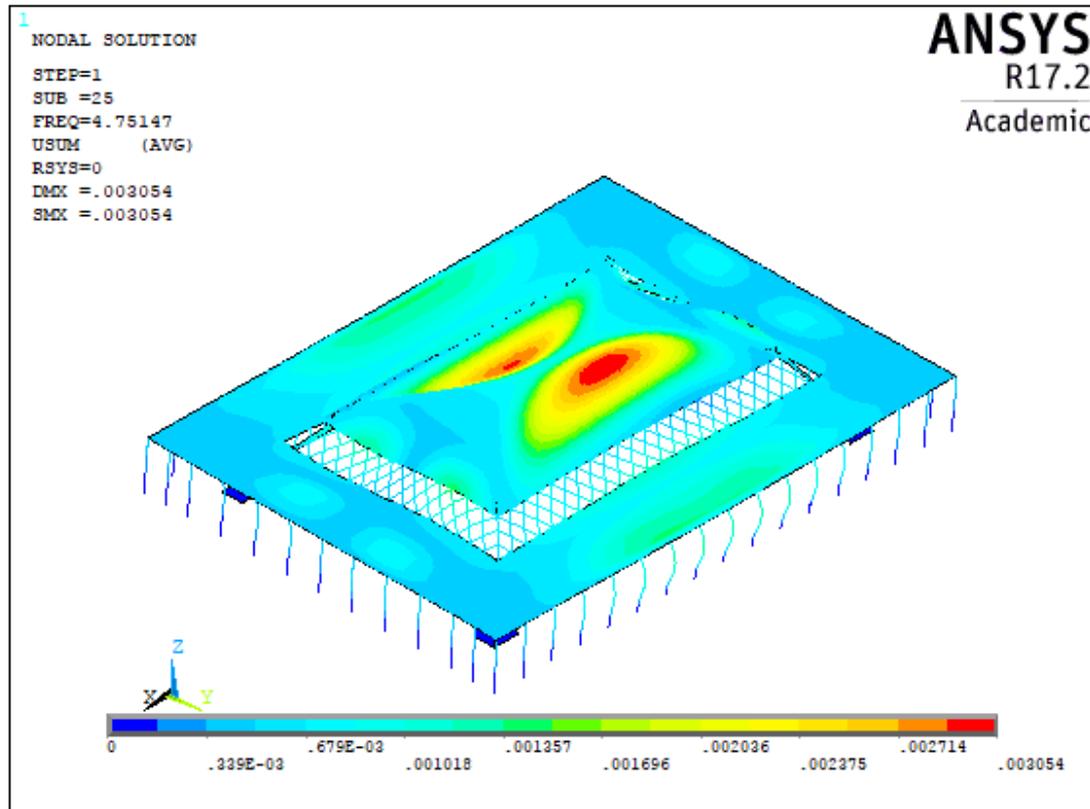


Figura 3.29 Venticinquesimo modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

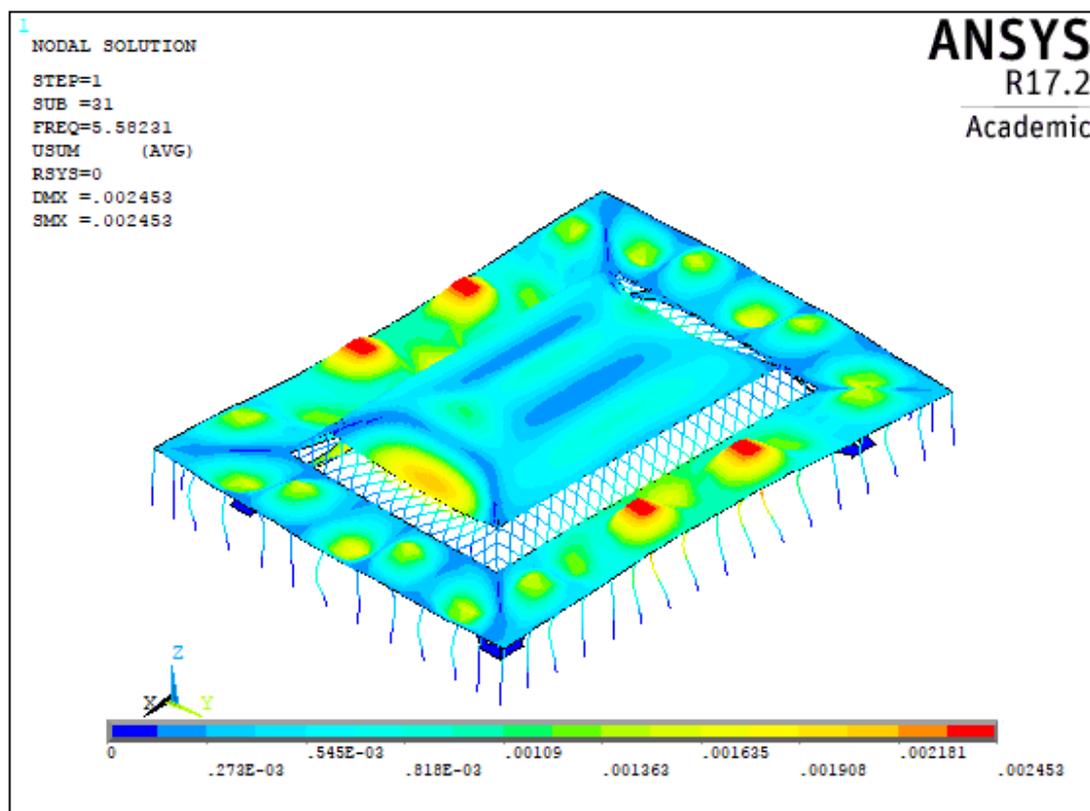


Figura 3.30 Trentunesimo modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

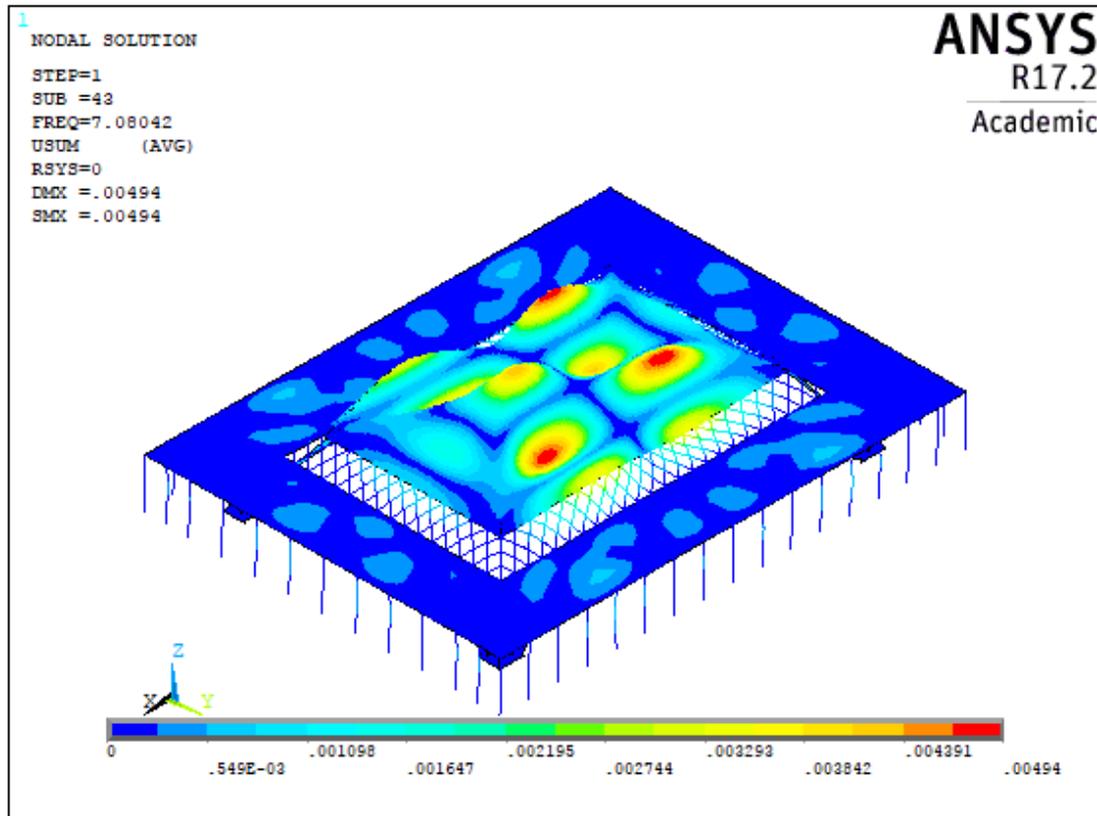


Figura 3.31 Quarantatreesimo modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

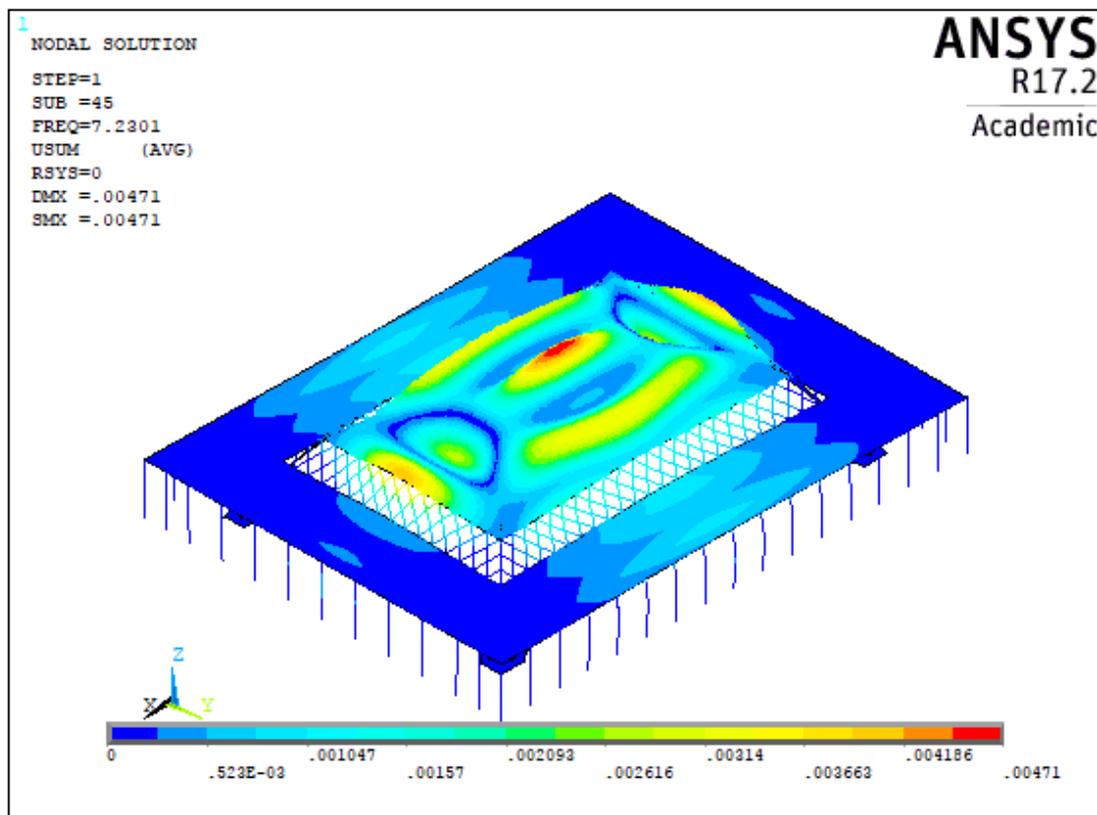


Figura 3.32 Quarantacinquesimo modo di vibrare (modello senza muratura di tamponamento)

### 3.7 Selezione delle zone critiche

La selezione delle zone maggiormente vulnerabili della struttura si rende necessaria, poiché non è possibile effettuare un controllo accurato di tutti gli elementi con il software a disposizione, inoltre i disegni di progetto recanti le caratteristiche delle sezioni (numero di ferri utilizzati, materiali utilizzati) non sono completi, poiché sono andati perduti nel tempo. Per tanto sono state selezionate le sezioni maggiormente sollecitate, selezionate sulla base degli sforzi indotti dai pesi propri, che coincidessero allo stesso tempo con i dati a disposizione. Nelle figure seguenti sono riportate alcune immagini raffiguranti le uniche tavole di progetto ancora esistenti della struttura.

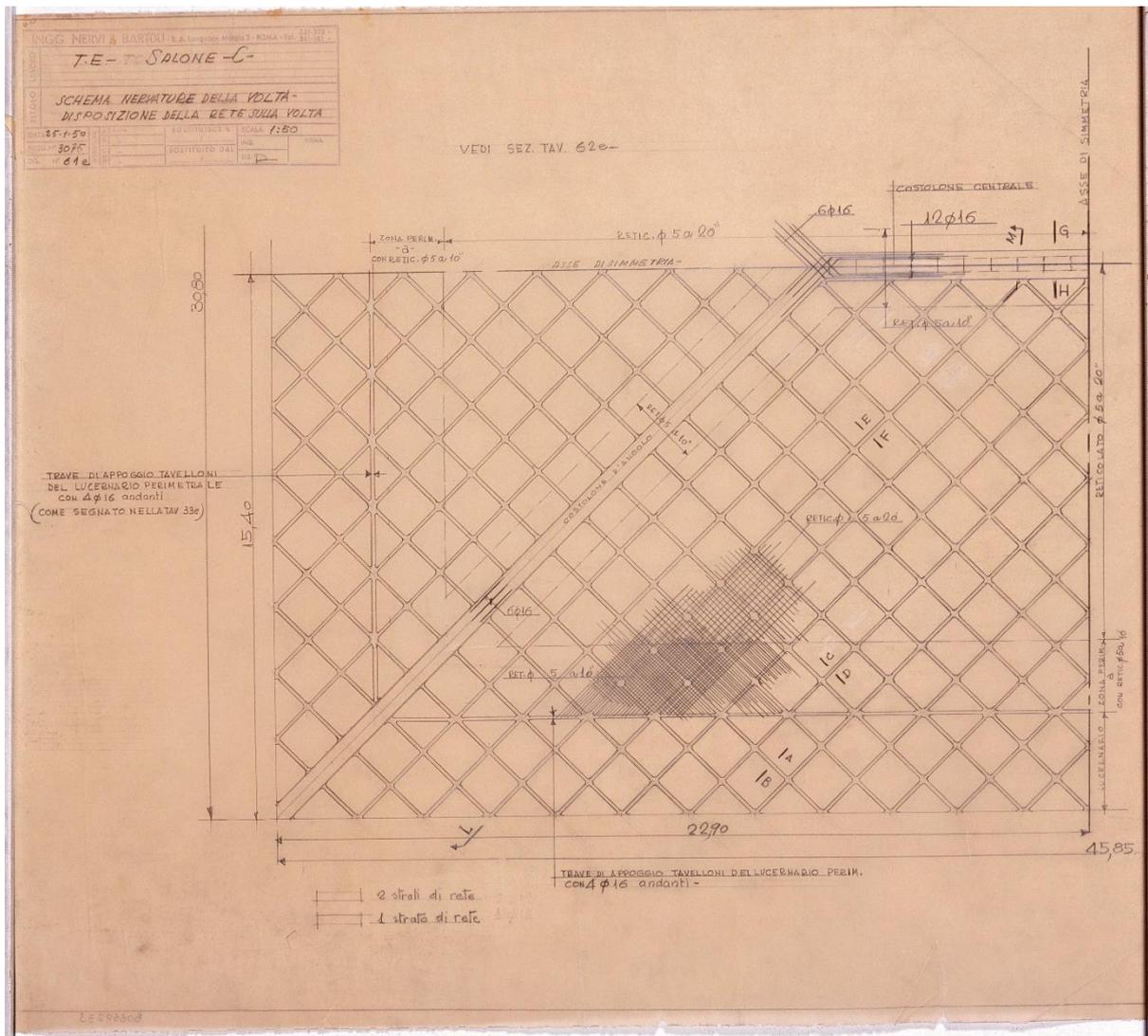


Figura 3.33 Tavola contenente indicazioni costruttive sugli elementi della volta. Disegno originale di P.L. Nervi [13]

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

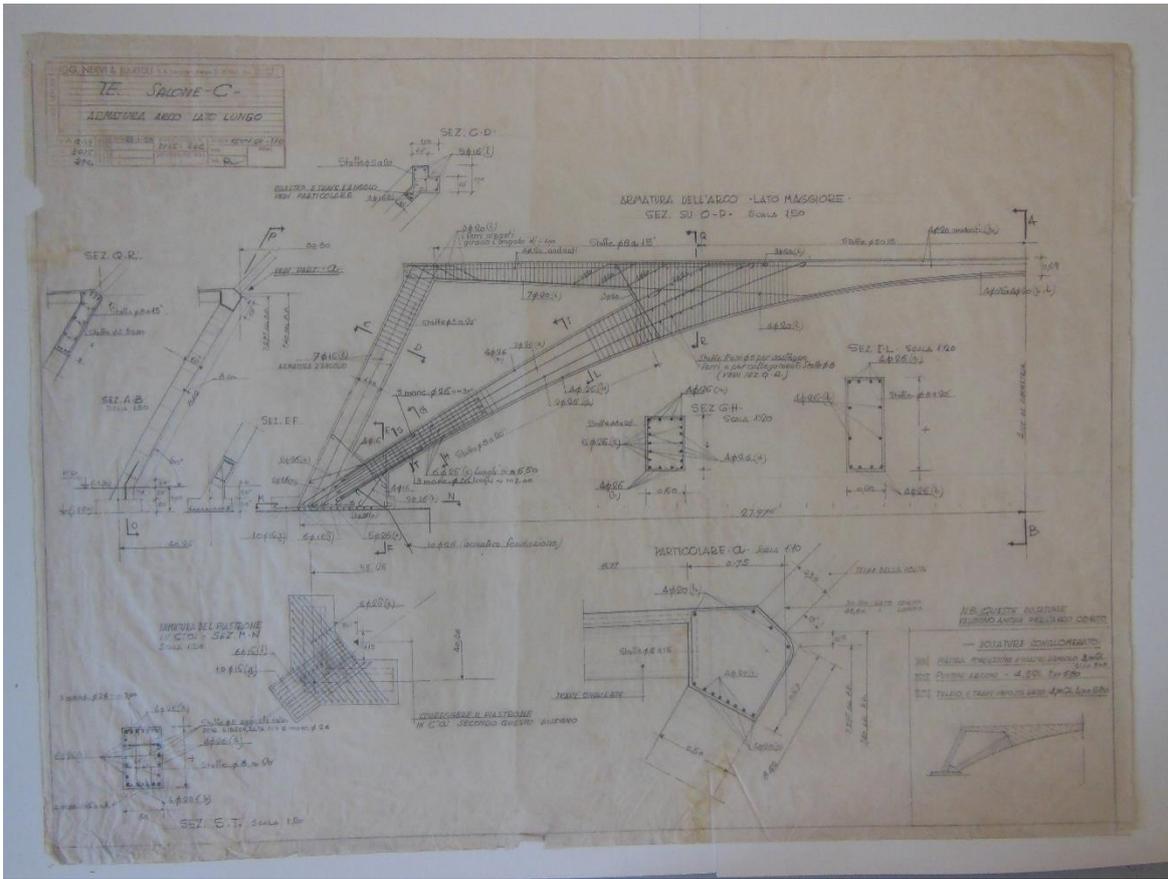


Figura 3.34 Tavola contenente le indicazioni costruttive per l'arcone del lato lungo. Disegno originale di P.L. Nervi [13]

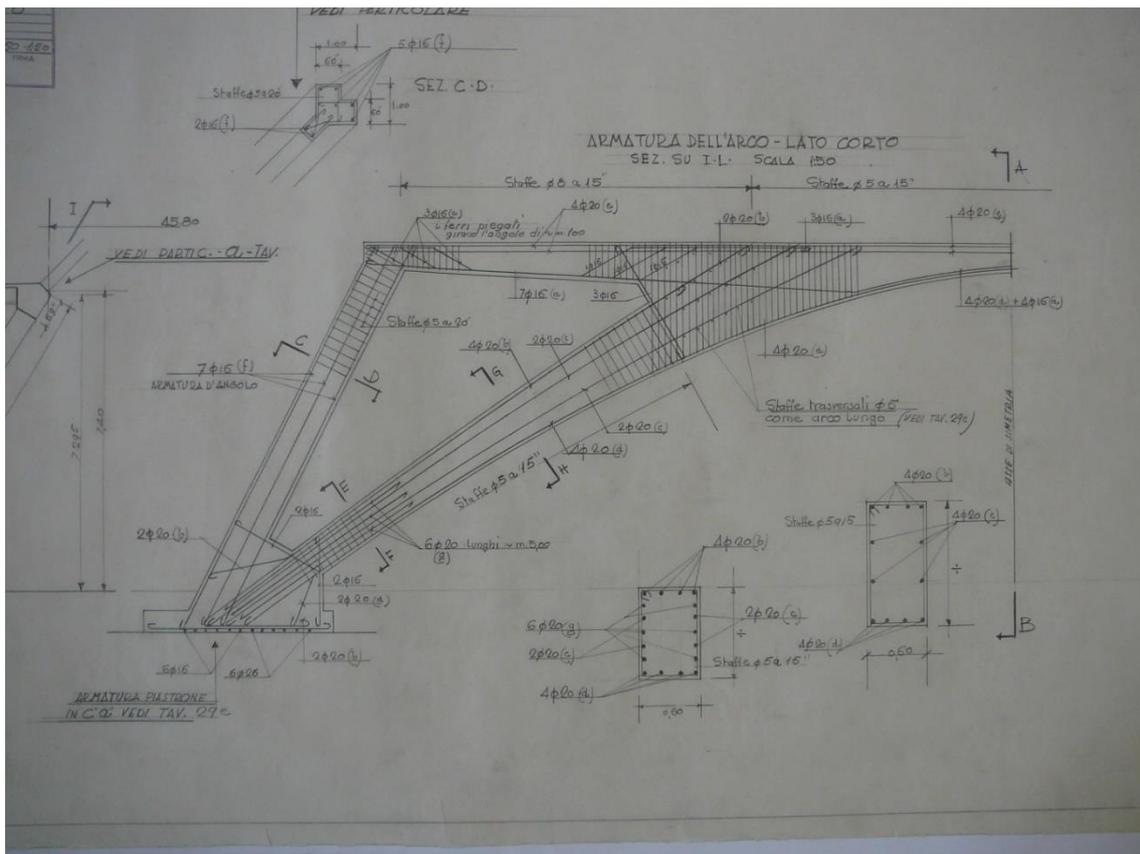


Figura 3.35 Tavola contenente le indicazioni costruttive per l'arcone del lato corto. Disegno originale di P.L. Nervi [13]

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

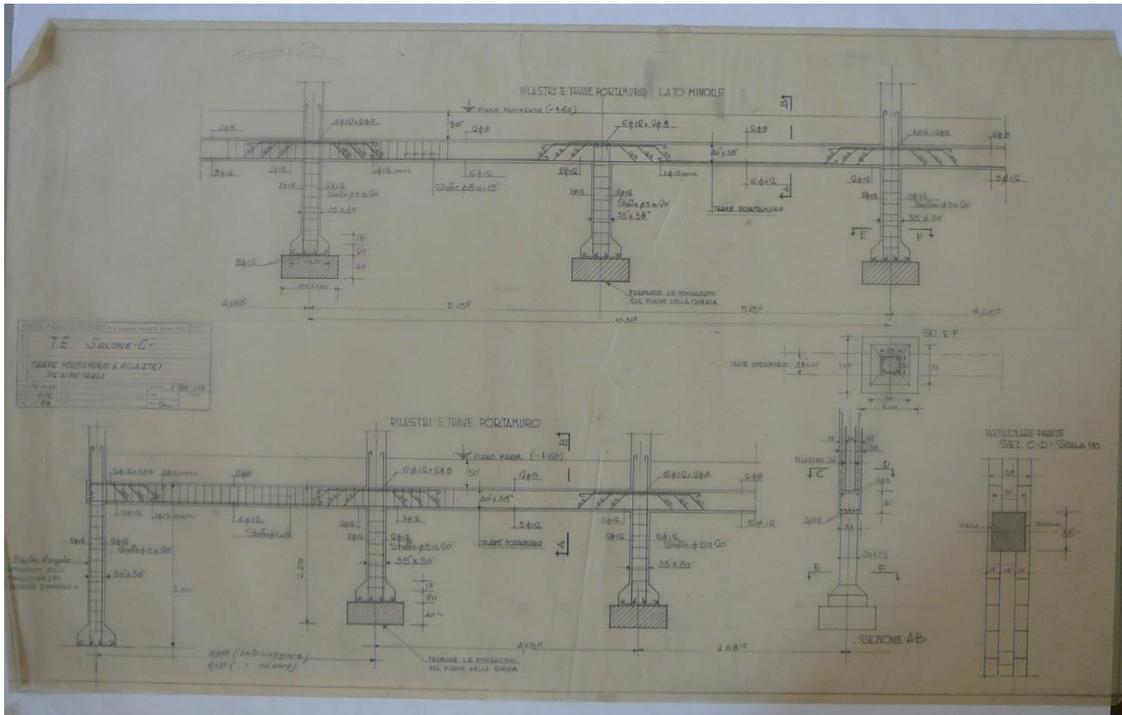


Figura 3.36 Tavola contenete le indicazioni costruttive dei pilastri perimetrali della pensilina di bordo. Disegno originale di P.L. Nervi [13]

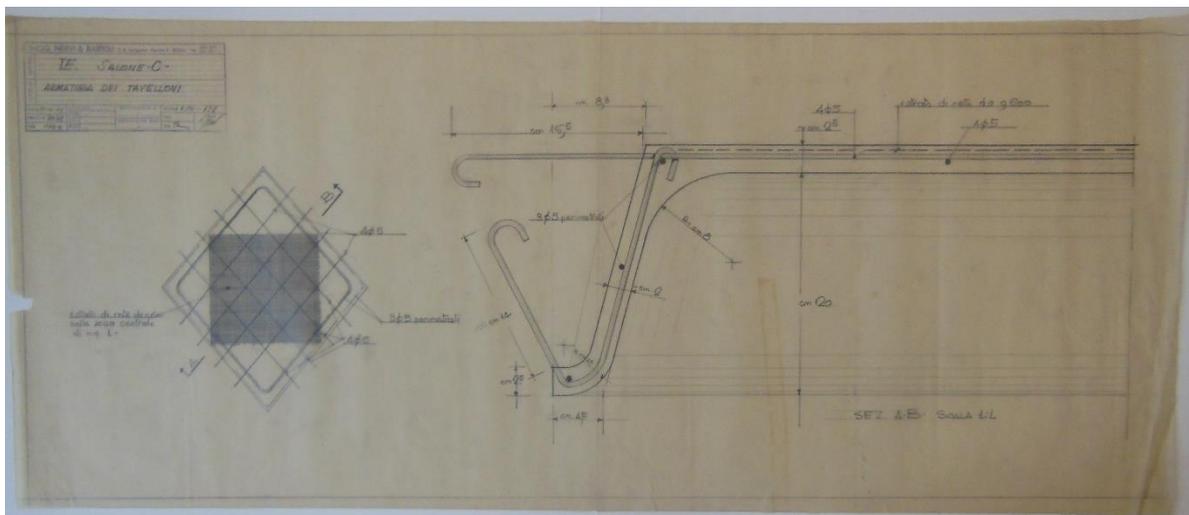


Figura 3.37 Tavola contenete le indicazioni costruttive degli elementi in ferrocemento utilizzati per la copertura della volta. Disegno originale di P.L. Nervi [13]

Vengono ora presentati i risultati dell'analisi statica sulla cui base sono state selezionate le zone più critiche.

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

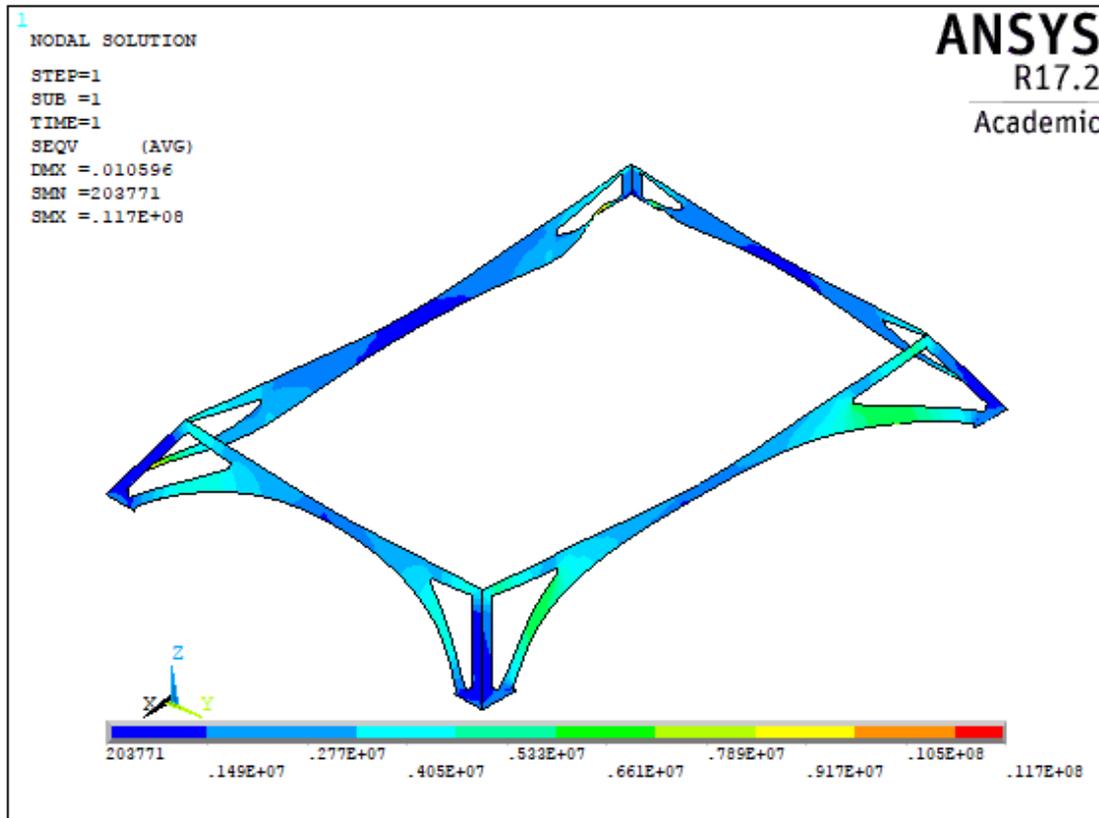


Figura 3.38 Stato tensionale degli arconi indotto dall'intera struttura

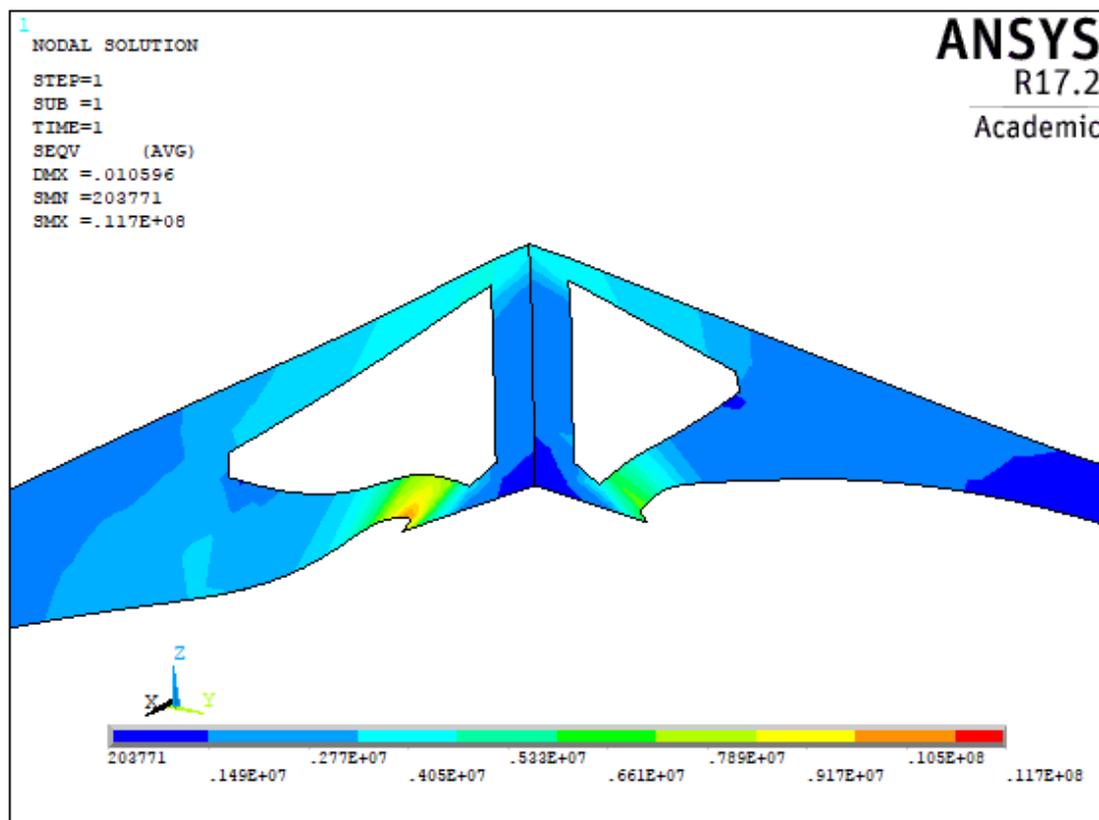


Figura 3.39 Particolare dello stato tensionale della faccia interna alla base degli arconi indotto dall'intera struttura

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

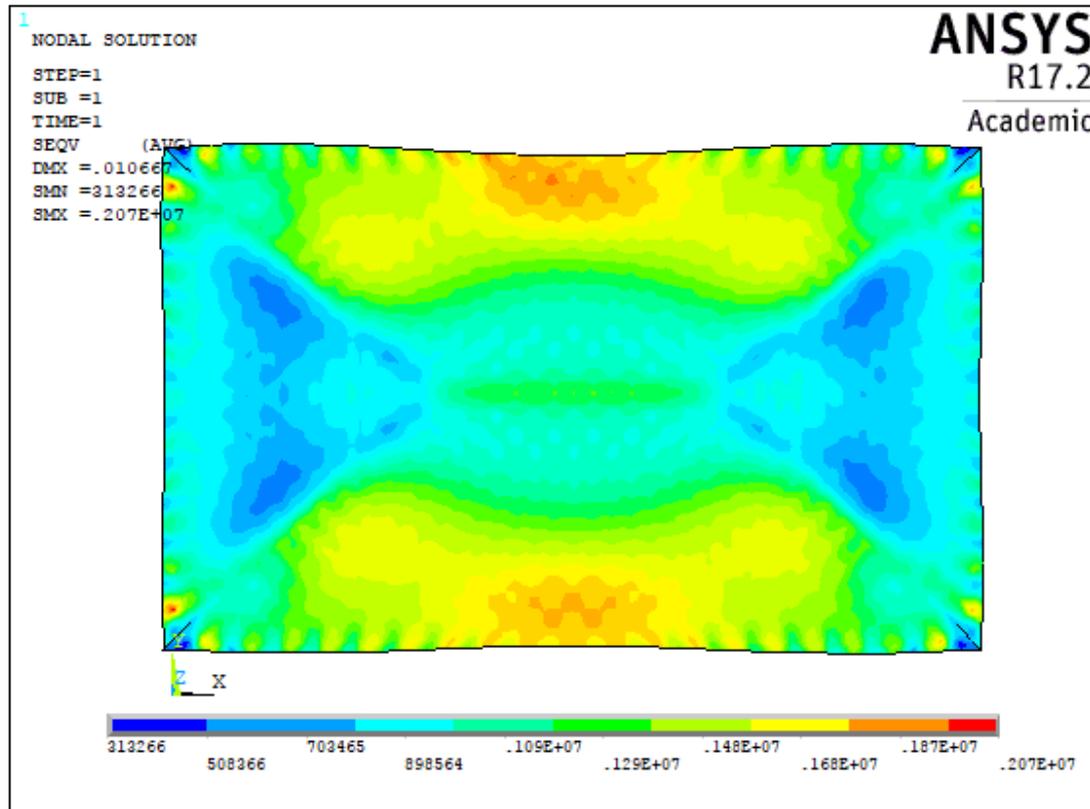


Figura 3.40 Stato tensionale degli elementi in ferrocemento della volta indotto dall'intera struttura

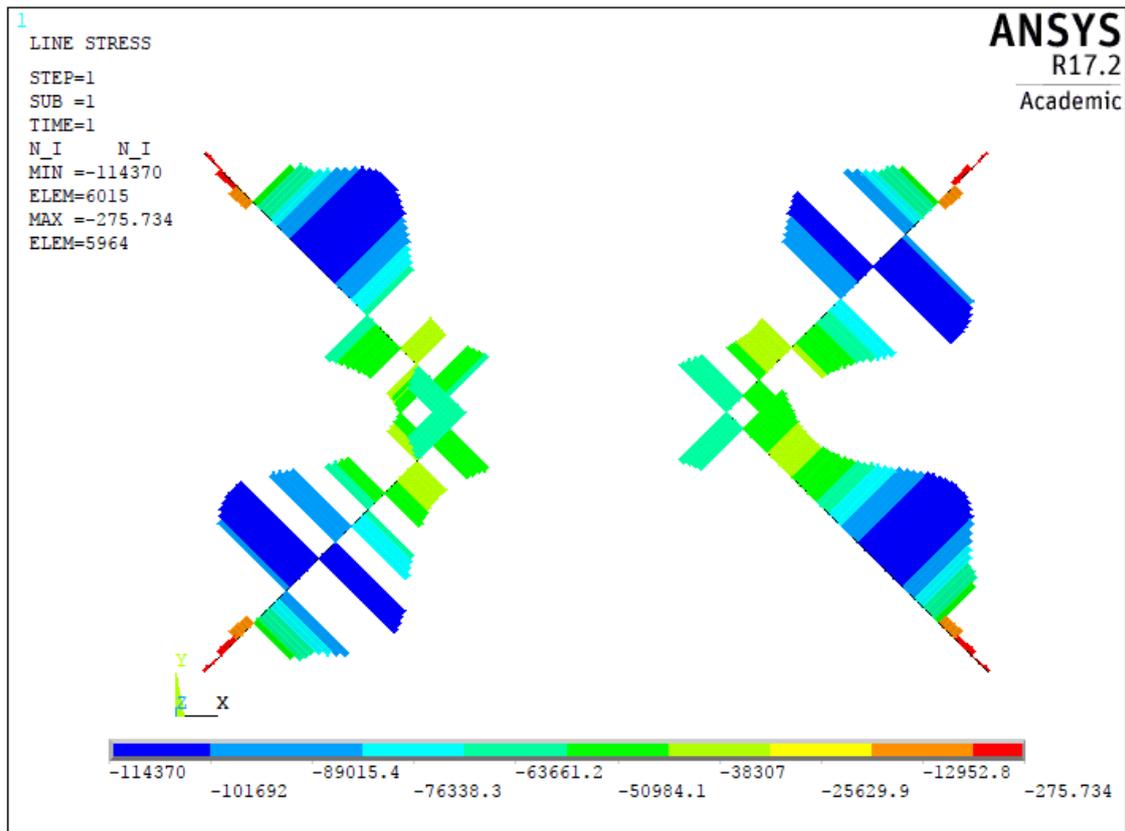


Figura 3.41 Sforzo normale sulle nervature principali della volta indotto dall'intera struttura

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

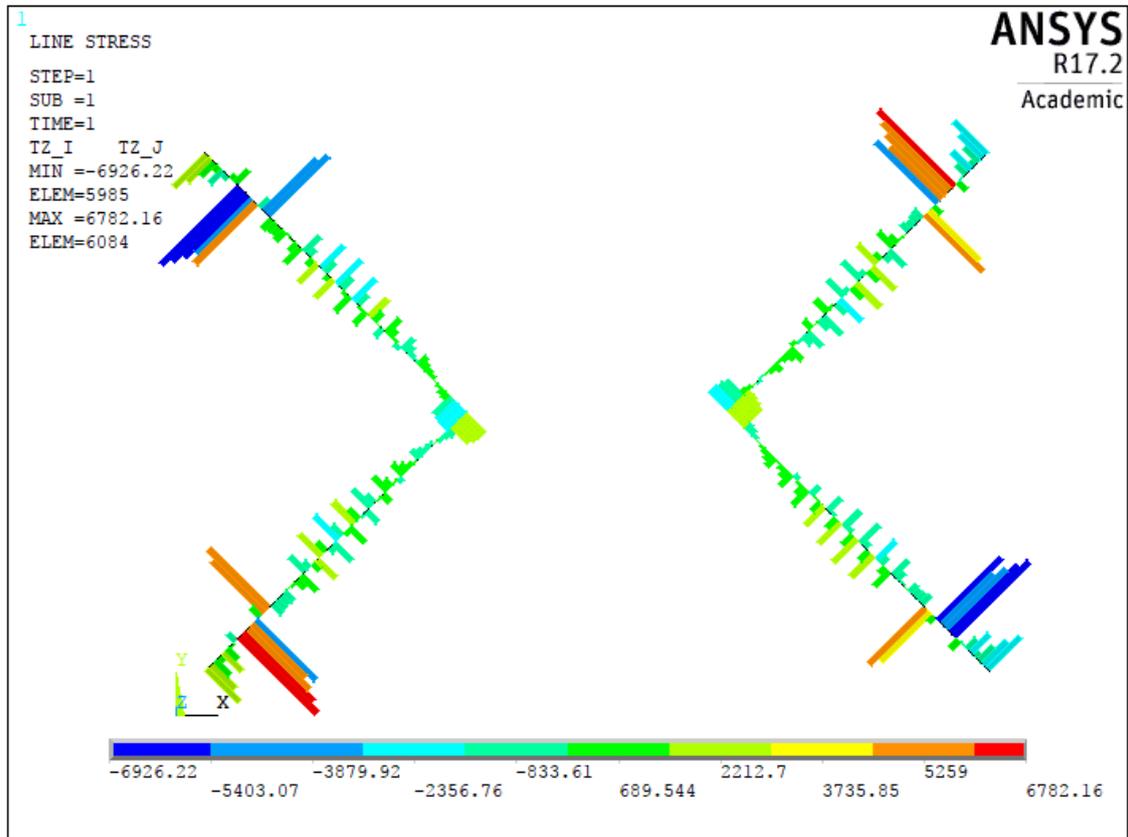


Figura 3.42 Taglio sulle nervature principali della volta indotto dall'intera struttura

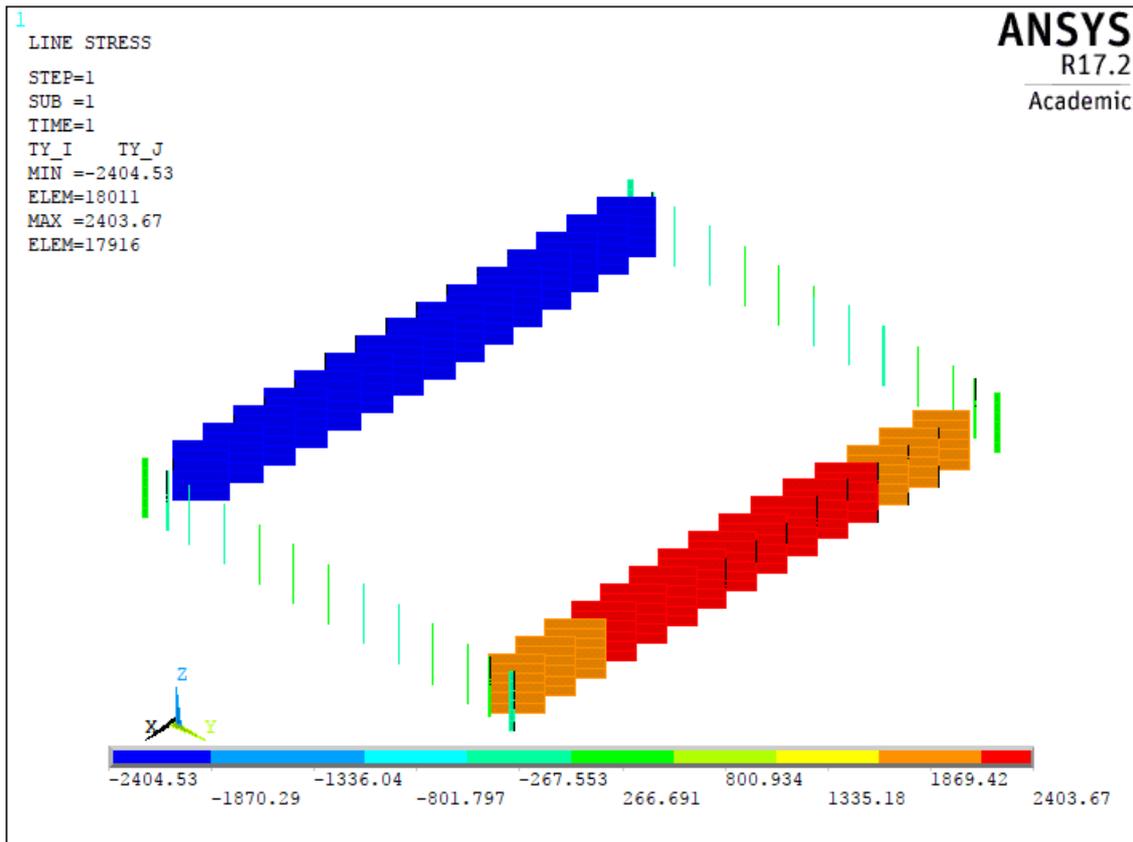


Figura 3.43 Taglio in direzione y sui pilastri perimetrali della pensilina indotto dall'intera struttura

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

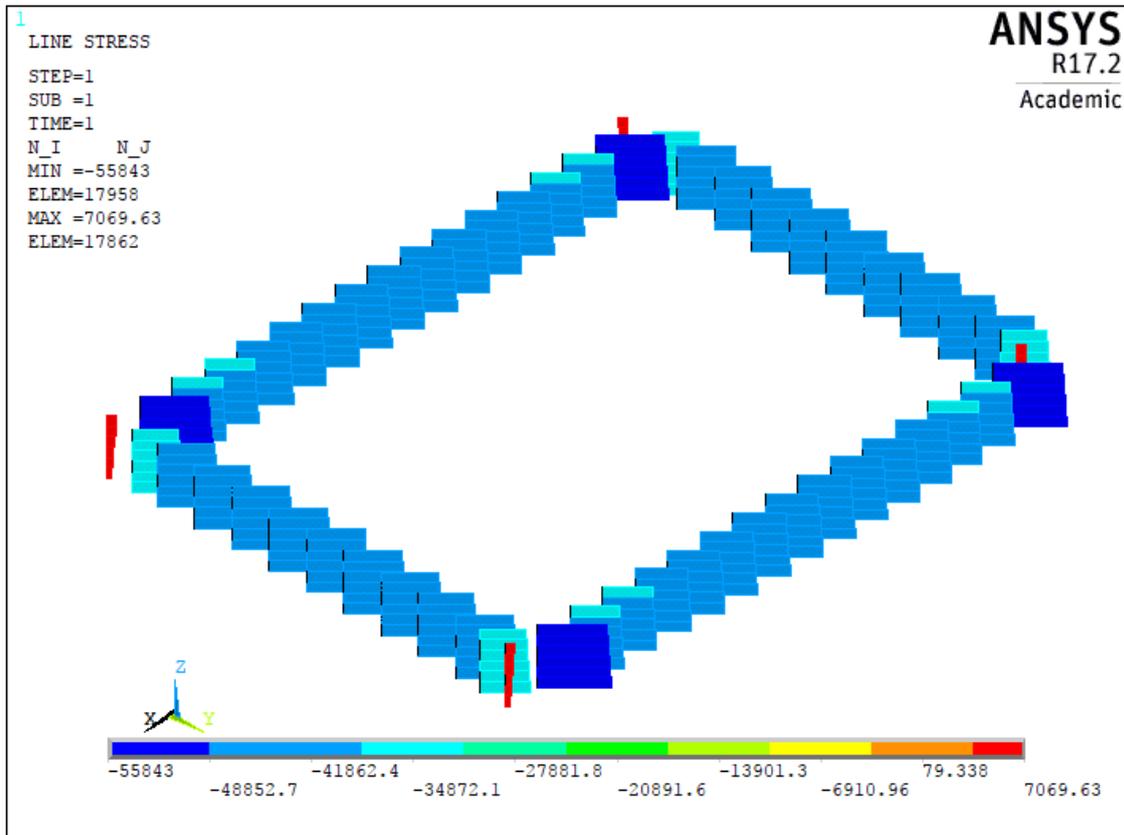


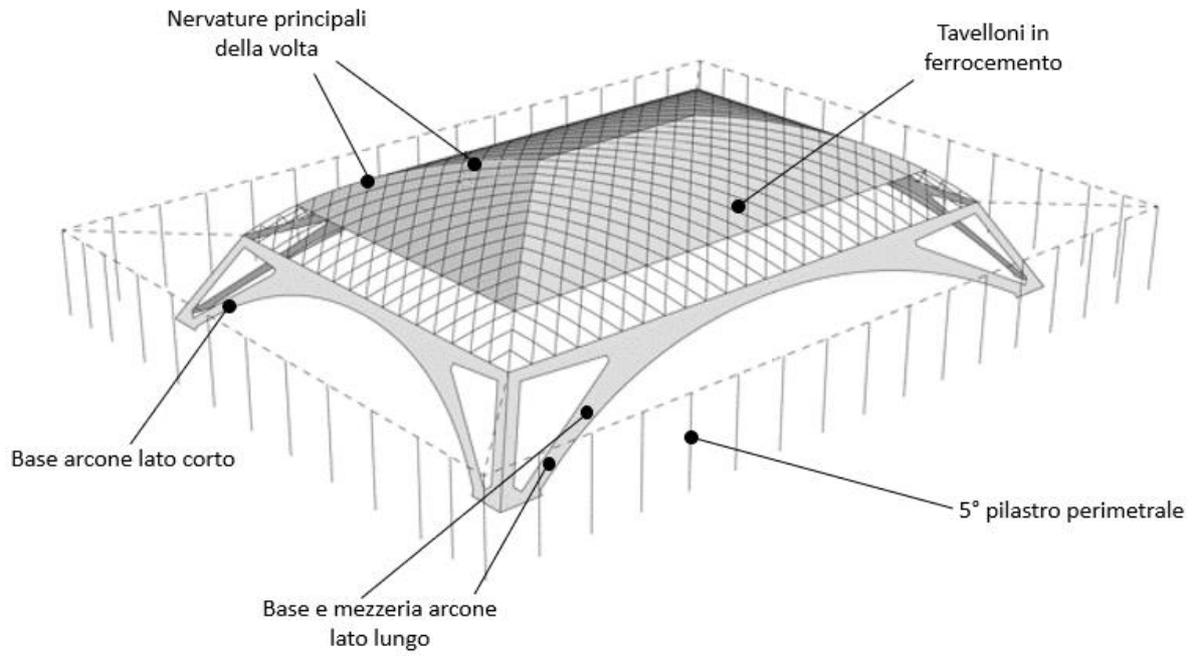
Figura 3.44 Sforzo normale sui pilastri perimetrali della pensilina

Sulla base dei risultati ottenuti si evince che:

- Per quanto riguarda gli arconi (lato lungo), le sezioni maggiormente sollecitate sono quelle alla base e quelle a  $\frac{1}{4}$  dell'arcone (denominate successivamente come mezzeria).
- Per gli arconi del lato corto è stata selezionata una sola sezione di controllo in prossimità della base, come nel caso degli arconi del lato lungo.
- Gli elementi in ferrocemento sottoposti a maggior stress sono quelli negli'angoli e nelle zone di bordo della volta.
- Le nervature principali risultano essere molto caricate a sforzo normale in prossimità della mezzeria e a momento flettente e taglio in prossimità degli'angoli della volta, per questo sono state selezionate due sezioni, rispettivamente una per ognuna delle due zone.
- I pilastri centrali della pensilina (sul lato lungo) risultano essere maggiormente sollecitati a taglio rispetto a quelli perimetrali, sono inoltre notevolmente caricati a sforzo normale, perciò è stato selezionato il 5° pilastro, dove sono state verificate la sezione in mezzeria e quella in sommità.

Gli elementi selezionati sono visibili in Figura 3.45 Visualizzazione grafica della posizione degli elementi selezionati

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni



*Figura 3.45 Visualizzazione grafica della posizione degli elementi selezionati*

### 3.8 Risultati ottenuti

Nel seguito vengono presentati in forma tabellare i risultati ottenuti per le sezioni selezionate sulla base delle considerazioni precedentemente effettuate. L'ultima colonna rappresenta l'incremento percentuale di sollecitazione indotto dal caso dinamico rispetto al caso statico.

#### 3.8.1 Output modello senza muri di tamponamento

- 1° elemento selezionato: Base arco lato lungo

Analisi senza murature	Base arco lato lungo - Elemento 17150 - Shell 181											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	2026,40	-200,37	-130103,59	-12054,15	-20594,80	666,81	-5847,34	1308,79	162697,62	-2923439,09	-3086136,71	5,27
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-25,08	2,95	-0,09	-378,12	-629,45	-5,12	0,83	-13,75	1010,84	136806,50	137817,34	0,73
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	1187,44	-116,73	-72773,04	-8470,13	-15322,55	421,04	-2208,22	761,30	96418,15	-4758,09	-101176,25	95,30
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	47,20	-5,15	19,59	422,70	742,45	8,36	-1,67	29,24	1191,14	-275981,41	-277172,55	0,43
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	325,72	-32,02	-19961,93	-2323,39	-4203,03	115,49	-605,72	208,83	26447,88	-1305,16	-27753,04	95,30

Tabella 3.7 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Base arco lato lungo - Elemento 17150 - Shell 181											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	2012,45	-207,05	-39595,35	-41221,12	-73014,41	749,25	-1706,64	1287,40	153425,63	-2923439,09	-3076864,72	4,99
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-25,73	2,84	-0,30	-1260,29	-2098,26	-2,56	2,29	-13,81	3360,45	136806,50	140166,95	2,40
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	1175,50	-119,12	-22042,35	-27759,46	-49499,32	476,34	-631,46	764,65	99029,21	-4758,09	-103787,30	95,42
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	48,54	-4,91	65,29	1408,86	2474,96	3,95	-4,48	29,44	3952,55	-275981,41	-279933,96	1,41
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	322,44	-32,68	-6046,30	-7614,53	-13577,86	130,66	-173,21	209,75	27164,10	-1305,16	-28469,26	95,42

Tabella 3.8 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Base arco lato lungo - Elemento 17150 - Shell 181											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	6800,05	-678,55	-39161,51	-12277,48	-21613,62	2098,37	-1832,83	4284,45	72355,15	-2923439,09	-2995794,24	2,42
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-82,96	9,95	-0,09	-378,24	-629,35	-19,65	1,32	-45,77	1022,41	136806,50	137828,91	0,74
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	3967,88	-388,88	-21880,61	-8349,31	-14966,55	1337,22	-712,12	2560,73	44739,66	-4758,09	-49497,75	90,39
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	155,98	-17,39	19,59	422,84	742,34	32,29	-2,76	97,29	1217,13	-275981,41	-277198,53	0,44
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	1088,41	-106,67	-6001,94	-2290,25	-4105,38	366,81	-195,34	702,42	12272,26	-1305,16	-13577,43	90,39

Tabella 3.9 Output delle sollecitazioni da FEM

- 2° elemento selezionato: Mezzeria arco lato lungo

Analisi senza murature	Mezzeria arco lato lungo - Elemento 17153 - Shell 181											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	1881,39	-217,80	-163962,29	-13561,99	-21765,32	560,73	-6006,18	924,74	199283,34	-2381959,57	-2581242,91	7,72
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	10,51	-0,38	6,96	164,96	387,35	3,57	-1,06	9,96	561,19	-109002,06	-109563,25	0,51
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	1553,11	-181,75	-101503,43	-12034,21	-20189,07	463,74	-2406,65	727,25	133536,96	-197284,98	-330821,94	40,37
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	36,28	-3,96	9,10	306,20	612,18	6,47	-1,22	18,04	932,10	-208366,77	-209298,87	0,45
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	459,06	-53,72	-30001,79	-3557,00	-5967,37	137,07	-711,34	214,96	39470,07	-58312,34	-97782,41	40,37

Tabella 3.10 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Analisi senza murature	Mezzeria arco lato lungo - Elemento 17153 - Shell 181												
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	1869,18	-223,18	-49237,47	-45179,58	-73700,26	627,26	-1774,53	917,37	167749,94	-2381959,57	-2549709,50	6,58	
$My_{ed}$ [N*m]	10,95	-0,32	23,19	549,76	1291,18	1,53	-2,80	10,08	1864,93	-109002,06	-110867,00	1,68	
$Ty_{ed}$ [N/m]	1538,35	-184,00	-30455,14	-38782,66	-63486,59	523,63	-699,55	739,72	132398,71	-197284,98	-329683,69	40,16	
$Tz_{ed}$ [N/m]	37,39	-3,77	30,33	1020,52	2040,66	3,12	-3,30	18,20	3094,04	-208366,77	-211460,81	1,46	
$Mz_{ed}$ [N*m]	454,70	-54,38	-9001,75	-11463,15	-18764,99	154,77	-206,77	218,64	39133,63	-58312,34	-97445,97	40,16	

Tabella 3.11 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Mezzeria arco lato lungo - Elemento 17153 - Shell 181												
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	6301,52	-734,11	-49200,17	-13540,16	-22044,00	1762,22	-1851,17	3053,92	84128,46	-2381959,57	-2466088,02	3,41	
$My_{ed}$ [N*m]	34,60	-1,33	6,96	165,06	387,32	13,92	-1,81	33,07	568,26	-109002,06	-109570,32	0,52	
$Ty_{ed}$ [N/m]	5180,84	-603,15	-30452,18	-11713,63	-19321,29	1474,02	-763,32	2480,58	60948,41	-197284,98	-258233,39	23,60	
$Tz_{ed}$ [N/m]	119,82	-13,39	9,10	306,33	612,11	24,93	-1,97	59,99	950,48	-208366,77	-209317,24	0,45	
$Mz_{ed}$ [N*m]	1531,32	-178,28	-9000,88	-3462,25	-5710,87	435,68	-225,62	733,20	18014,77	-58312,34	-76327,11	23,60	

Tabella 3.12 Output delle sollecitazioni da FEM

- 3° elemento selezionato: Base arco lato corto

Analisi senza murature	Base arco lato corto - Elemento 16771 - Shell 181												
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	46,00	1224,59	-57173,37	12477,35	30670,92	-144,93	-4374,36	7,90	15705,27	-1709137,83	-1724843,10	0,91	
$My_{ed}$ [N*m]	0,56	8,18	1338,65	-3,77	10,95	-1,23	82,22	4,03	1353,44	-65224,23	-66577,67	2,03	
$Ty_{ed}$ [N/m]	0,04	-397,96	29437,59	-1718,37	-3222,88	57,73	1762,00	-59,78	24672,61	20683,82	45356,44	54,40	
$Tz_{ed}$ [N/m]	1,42	21,49	558,92	-29,21	86,93	-3,44	177,03	-1,78	650,67	-193187,05	-193837,73	0,34	
$Mz_{ed}$ [N*m]	0,01	-97,11	7183,55	-419,33	-786,47	14,09	429,97	-14,59	6020,77	5047,40	11068,17	54,40	

Tabella 3.13 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Base arco lato corto - Elemento 16771 - Shell 181												
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	45,86	1198,58	-17428,88	40600,41	105196,97	-159,65	-1324,08	13,08	128397,96	-1709137,83	-1837535,79	6,99	
$My_{ed}$ [N*m]	0,56	8,64	401,59	-1,15	3,30	-0,92	24,60	4,03	406,66	-65224,23	-65630,89	0,62	
$Ty_{ed}$ [N/m]	0,00	-391,00	8762,90	-5717,35	-10724,26	61,30	530,52	-60,53	7761,72	20683,82	28445,54	27,29	
$Tz_{ed}$ [N/m]	1,43	22,90	167,68	-8,81	26,11	-2,78	52,98	-1,82	196,63	-193187,05	-193383,69	0,10	
$Mz_{ed}$ [N*m]	0,00	-95,41	2138,38	-1395,18	-2617,00	14,96	129,46	-14,77	1894,06	5047,40	6941,46	27,29	

Tabella 3.14 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Base arco lato corto - Elemento 16771 - Shell 181												
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	154,36	3983,70	-17216,02	12232,56	31364,51	-544,83	-1353,90	36,72	26858,62	-1709137,83	-1735996,44	1,55	
$My_{ed}$ [N*m]	1,85	29,26	401,59	-1,24	3,35	-2,75	24,39	13,43	409,64	-65224,23	-65633,87	0,62	
$Ty_{ed}$ [N/m]	-0,68	-1294,52	8815,56	-1711,37	-3221,43	217,77	544,34	-203,56	4157,51	20683,82	24841,33	16,74	
$Tz_{ed}$ [N/m]	4,77	77,75	167,68	-8,98	26,22	-8,61	52,56	-6,10	211,97	-193187,05	-193399,02	0,11	
$Mz_{ed}$ [N*m]	-0,17	-315,90	2151,23	-417,62	-786,11	53,14	132,83	-49,67	1014,54	5047,40	6061,94	16,74	

Tabella 3.15 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

- 4° elemento selezionato: Base del 5° pilastro della pensilina (lato lungo)

Analisi senza murature	5° Pilastro lato lungo base- Elemento 17940 -Beam 188											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	21,68	0,50	0,00	-0,01	0,01	1,89	0,10	-3,22	22,40	-42874,46	-42896,86	0,05
$M_{yed}$ [N*m]	0,00	0,00	19,23	-0,20	0,32	0,01	0,95	0,00	19,42	-74,67	-94,09	20,64
$M_{zed}$ [N*m]	-0,53	-0,01	-0,43	5,90	12,38	-0,02	-0,01	0,00	17,83	3842,36	3860,19	0,46
$T_{yed}$ [N/m]	11,87	0,14	-1,73	7,16	21,34	0,44	-0,02	-0,06	29,96	2207,59	2237,55	1,34
$T_{zed}$ [N/m]	-0,08	0,02	-11,24	0,10	-0,28	-0,01	-0,73	0,02	11,49	24,54	36,02	31,89

Tabella 3.16 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	5° Pilastro lato lungo base- Elemento 17940 -Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	21,68	0,50	0,00	-0,01	0,01	1,89	0,10	-3,22	22,40	-42874,46	-42896,86	0,05
$M_{yed}$ [N*m]	0,00	0,00	5,77	-0,06	0,09	0,00	0,29	0,00	5,82	-74,67	-80,49	7,23
$M_{zed}$ [N*m]	-0,56	0,00	-1,42	19,67	41,28	-0,03	-0,04	0,00	59,48	3842,36	3901,84	1,52
$T_{yed}$ [N/m]	11,73	0,15	-5,73	23,87	71,10	0,50	-0,06	-0,06	90,71	2207,59	2298,30	3,95
$T_{zed}$ [N/m]	-0,08	0,02	-3,36	-0,03	-0,22	0,00	-0,22	0,01	3,63	24,54	28,17	12,89

Tabella 3.17 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	5° Pilastro lato lungo base- Elemento 17940 -Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	72,27	1,68	0,00	-0,03	0,03	6,31	0,32	-10,73	74,68	-42874,46	-42949,14	0,17
$M_{yed}$ [N*m]	-0,01	0,00	5,77	-0,06	0,09	0,00	0,29	0,00	5,82	-74,67	-80,50	7,24
$M_{zed}$ [N*m]	-1,74	-0,02	-0,43	5,90	12,38	-0,06	-0,01	0,01	17,84	3842,36	3860,20	0,46
$T_{yed}$ [N/m]	39,69	0,47	-1,72	7,15	21,34	1,42	0,01	-0,22	49,51	2207,59	2257,10	2,19
$T_{zed}$ [N/m]	-0,27	0,08	-3,37	0,02	-0,11	-0,01	-0,22	0,05	3,50	24,54	28,04	12,48

Tabella 3.18 Output delle sollecitazioni da FEM

- 5° elemento selezionato: Sommità del 5° pilastro della pensilina (lato lungo)

Analisi senza murature	5° Pilastro lato lungo sommità- Elemento 17940 -Beam 188											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	21,67	0,50	0,00	-0,01	0,01	1,89	0,10	-3,21	22,39	-39690,90	-39713,29	0,06
$M_{yed}$ [N*m]	0,14	-0,04	-5,08	0,08	0,05	0,00	0,28	-0,02	4,94	66,89	71,82	6,88
$M_{zed}$ [N*m]	20,08	0,24	-1,62	1,45	10,22	0,74	-0,01	-0,11	23,18	-8893,84	-8917,02	0,26
$T_{yed}$ [N/m]	-127,08	-1,52	14,90	-39,64	-144,79	-4,74	0,14	0,69	218,55	2207,58	2426,13	9,01
$T_{zed}$ [N/m]	0,88	-0,27	16,44	0,00	1,19	0,03	1,32	-0,15	17,78	24,54	42,32	42,01

Tabella 3.19 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	5° Pilastro lato lungo sommità- Elemento 17940 -Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	21,67	0,50	0,00	-0,01	0,02	1,89	0,10	-3,21	22,39	-39690,90	-39713,29	0,06
$M_{yed}$ [N*m]	0,14	-0,04	-1,55	0,13	0,24	0,01	0,08	-0,02	1,17	66,89	68,06	1,72
$M_{zed}$ [N*m]	19,95	0,24	-5,35	4,83	34,02	0,83	-0,02	-0,11	40,14	-8893,84	-8933,97	0,45
$T_{yed}$ [N/m]	-125,84	-1,54	49,36	-132,04	-482,35	-5,34	0,32	0,69	586,53	2207,58	2794,11	20,99
$T_{zed}$ [N/m]	0,87	-0,26	4,79	0,68	1,80	0,04	0,40	-0,15	7,34	24,54	31,88	23,02

Tabella 3.20 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Analisi senza murature	5° Pilastro lato lungo sommità- Elemento 17940 - Beam 188												
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	72,23	1,68	0,00	-0,03	0,03	6,29	0,32	-10,69	74,64	-39690,90	-39765,54	0,19	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	0,46	-0,14	-1,53	0,05	0,07	0,02	0,08	-0,08	1,44	66,89	68,32	2,10	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	67,07	0,80	-1,61	1,44	10,22	2,40	0,04	-0,37	69,17	-8893,84	-8963,01	0,77	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-424,83	-5,06	14,83	-39,56	-144,79	-15,22	-0,17	2,31	470,94	2207,58	2678,52	17,58	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	2,90	-0,87	4,90	0,15	0,69	0,11	0,40	-0,50	6,25	24,54	30,79	20,30	

Tabella 3.21 Output delle sollecitazioni da FEM

- 6° elemento selezionato: Mezzeria della nervatura principale della volta

Analisi senza murature	Nervatura volta mezzeria - Elemento 6187 - Beam 188												
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	22,96	13,19	12405,53	-1751,24	15,64	-52,51	-1228,89	-15,48	10668,12	-113908,14	-124576,26	8,56	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	0,31	-0,04	-0,80	-0,25	0,88	0,10	0,67	1,10	1,79	-936,37	-938,16	0,19	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-0,07	0,09	-5,13	-2,15	-9,56	0,26	3,24	-0,57	16,81	-128,80	-145,61	11,54	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	0,15	-0,10	11,10	-0,90	5,17	-0,10	-5,23	1,04	15,67	127,10	142,76	10,97	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,17	-0,03	2,68	-2,33	0,81	0,00	1,19	0,36	1,99	-554,61	-556,59	0,36	

Tabella 3.22 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Nervatura volta mezzeria - Elemento 6187 - Beam 188												
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	22,89	13,13	3727,96	-5924,18	-836,37	-57,99	-368,29	-10,42	3114,64	-113908,14	-117022,78	2,66	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	0,31	-0,04	-0,14	-0,22	3,45	0,10	0,20	1,09	3,47	-936,37	-939,83	0,37	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-0,06	0,09	-1,27	-4,70	-28,28	0,26	0,98	-0,60	34,14	-128,80	-162,94	20,95	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	0,15	-0,10	3,52	-5,08	14,22	-0,09	-1,57	1,07	12,60	127,10	139,70	9,02	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,17	-0,03	1,24	-6,46	3,32	0,00	0,35	0,35	2,00	-554,61	-556,61	0,36	

Tabella 3.23 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Nervatura volta mezzeria - Elemento 6187 - Beam 188												
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	75,47	43,69	3723,14	-1768,94	-189,48	-164,08	-383,09	-33,33	1784,64	-113908,14	-115692,79	1,54	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	1,05	-0,12	-0,22	-0,10	1,00	0,34	0,20	3,64	4,13	-936,37	-940,50	0,44	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-0,21	0,30	-1,48	-1,60	-8,73	0,88	0,98	-2,02	11,67	-128,80	-140,47	8,31	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	0,50	-0,33	3,37	-1,37	4,48	-0,34	-1,59	3,60	6,82	127,10	133,92	5,09	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,57	-0,09	0,91	-2,03	0,95	0,02	0,33	1,16	1,56	-554,61	-556,17	0,28	

Tabella 3.24 Output delle sollecitazioni da FEM

- 7° elemento selezionato: Base della nervatura principale della volta

Analisi senza murature	Nervatura volta base - Elemento 6187 - Beam 188												
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	62,14	45,77	1634,58	-1735,09	-1947,24	-41,16	137,79	425,03	2111,99	-11565,92	-13677,91	15,44	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-0,48	-0,32	59,50	-7,06	-11,36	0,14	0,99	-1,85	41,17	2188,52	2229,69	1,85	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-0,07	0,07	187,78	20,51	45,17	0,00	4,59	-0,03	253,50	-2103,84	-2357,34	10,75	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-1,02	0,70	68,61	19,07	40,95	-0,38	7,54	-1,51	128,84	-2656,41	-2785,25	4,63	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,72	0,65	-173,57	19,29	31,47	-0,25	-2,35	4,28	123,08	-6622,60	-6745,67	1,82	

Tabella 3.25 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Analisi senza murature	Nervatura volta base - Elemento 6187 - Beam 188												
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	61,58	46,63	898,22	-5149,19	-7335,57	-46,80	44,81	426,81	11580,30	-11565,92	-23146,22	50,03	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-0,48	-0,31	19,08	-19,67	-40,89	0,13	0,31	-1,86	41,72	2188,52	2230,24	1,87	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-0,08	0,06	53,20	80,89	146,78	0,12	1,32	-0,04	280,72	-2103,84	-2384,55	11,77	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-1,02	0,68	14,38	84,26	136,29	-0,23	2,16	-1,53	234,79	-2656,41	-2891,20	8,12	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,72	0,64	-57,93	49,63	121,14	-0,22	-0,73	4,29	113,49	-6622,60	-6736,09	1,68	

Tabella 3.26 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi senza murature	Nervatura volta base - Elemento 6187 - Beam 188												
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	203,38	152,49	584,48	-1588,28	-2142,62	-127,87	39,70	1429,03	3434,00	-11565,92	-14999,92	22,89	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-1,60	-1,05	18,13	-6,17	-12,05	0,52	0,31	-6,20	6,66	2188,52	2195,18	0,30	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-0,26	0,23	55,61	23,40	44,29	0,05	1,36	-0,21	123,23	-2103,84	-2227,07	5,53	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-3,43	2,29	19,15	23,87	40,88	-1,30	2,23	-5,22	83,39	-2656,41	-2739,80	3,04	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	2,43	2,15	-53,42	15,89	35,21	-1,04	-0,72	14,31	15,25	-6622,60	-6637,85	0,23	

Tabella 3.27 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3.8.2 Output modello con muri di tamponamento

- 1° elemento selezionato: Base arco lato lungo

Analisi con murature	Base arco lato lungo - Elemento 17150 - Shell 181												
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	-13929,90	4400,72	-39755,34	-3957,08	-615,87	-14128,41	3307,00	-14858,85	68525,53	-3371997,67	-3440523,20	1,99	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-417,81	-53,32	-8,82	2,03	-1,27	-437,20	116,47	0,35	676,49	146681,41	147357,90	0,46	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-8448,69	2632,86	-28237,19	-2609,57	-612,96	-9661,95	1566,74	-8542,58	47196,98	5973,48	53170,46	88,77	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	803,52	103,26	14,08	-4,14	2,21	519,66	-386,05	-1,01	1021,41	-299100,93	-300122,34	0,34	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-2317,51	722,20	-7745,57	-715,82	-168,14	-2650,31	429,76	-2343,26	12946,32	1638,55	14584,86	88,77	

Tabella 3.28 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Base arco lato lungo - Elemento 17150 - Shell 181												
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	-46303,62	4191,53	-12414,41	-1649,15	-48,28	-47907,47	10896,33	-4409,83	80123,79	-3371997,67	-3452121,46	2,32	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-1392,86	-60,04	-25,46	-1,49	-0,91	-1456,96	388,22	1,19	2153,15	146681,41	148834,56	1,45	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-28166,04	2501,50	-8791,63	-1077,50	-97,95	-32033,95	5219,26	-2535,02	53427,34	5973,48	59400,82	89,94	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	2678,67	117,46	39,83	1,37	1,67	1731,69	-1286,83	-3,36	3201,11	-299100,93	-302302,04	1,06	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-7726,05	686,17	-2411,58	-295,56	-26,87	-8787,04	1431,66	-695,37	14655,33	1638,55	16293,88	89,94	

Tabella 3.29 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Base arco lato lungo - Elemento 17150 - Shell 181												
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]	
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45					
$N_{ed}$ [N/m]	-13915,90	14932,92	-11414,76	-2621,42	351,54	-14261,13	3277,14	-4440,55	26128,95	-3371997,67	-3398126,62	0,77	
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-417,66	-171,04	-12,77	10,29	-4,57	-437,57	116,47	0,34	781,14	146681,41	147462,55	0,53	
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-8459,25	8901,06	-8153,24	-1688,58	152,31	-9585,39	1565,73	-2552,32	18433,13	5973,48	24406,60	75,53	
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	803,27	330,01	21,21	-19,31	7,92	520,15	-386,07	-1,03	1230,00	-299100,93	-300330,93	0,41	
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-2320,41	2441,60	-2236,46	-463,18	41,78	-2629,31	429,49	-700,11	5056,28	1638,55	6694,83	75,53	

Tabella 3.30 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

- 2° elemento selezionato: Mezzeria arco lato lungo

Analisi con murature	Mezzeria arco lato lungo - Elemento 17153 - Shell 181											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
N <sub>ed</sub> [N/m]	-11001,38	3711,73	-55563,22	-5018,26	-1125,69	-15053,27	509,39	-19009,37	90987,27	-2803101,68	-2894088,96	3,14
M <sub>yed</sub> [N*m]	320,23	31,80	7,06	-1,98	0,77	216,16	-138,25	-0,48	408,73	-118829,59	-119238,31	0,34
T <sub>yed</sub> [N/m]	-9062,25	3065,23	-40082,66	-3487,91	-958,89	-13127,84	154,56	-12056,39	67168,42	-227562,20	-294730,63	22,79
T <sub>zed</sub> [N/m]	659,23	78,16	11,96	-2,05	1,07	378,41	-295,89	-0,72	814,82	-227724,26	-228539,08	0,36
M <sub>zed</sub> [N*m]	-2678,57	906,00	-11847,40	-1030,94	-283,42	-3880,25	45,68	-3563,56	19853,25	-67261,50	-87114,75	22,79

Tabella 3.31 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Mezzeria arco lato lungo - Elemento 17153 - Shell 181											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
N <sub>ed</sub> [N/m]	-36594,58	3559,85	-17021,29	-1897,44	-208,48	-50378,36	1616,52	-5674,46	88061,75	-2803101,68	-2891163,43	3,05
M <sub>yed</sub> [N*m]	1067,49	37,30	20,33	0,75	0,44	720,17	-460,81	-1,58	1301,41	-118829,59	-120131,00	1,08
T <sub>yed</sub> [N/m]	-30242,58	2932,85	-12316,15	-1376,85	-178,23	-43094,96	545,73	-3593,97	72320,41	-227562,20	-299882,61	24,12
T <sub>zed</sub> [N/m]	2197,61	89,64	35,59	2,80	0,51	1260,92	-986,29	-2,35	2563,10	-227724,26	-230287,36	1,11
M <sub>zed</sub> [N*m]	-8938,93	866,87	-3640,34	-406,96	-52,68	-12737,75	161,30	-1062,28	21376,04	-67261,50	-88637,54	24,12

Tabella 3.32 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Mezzeria arco lato lungo - Elemento 17153 - Shell 181											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
N <sub>ed</sub> [N/m]	-10999,34	12554,91	-16183,33	-2757,58	185,18	-15052,32	490,75	-5686,70	35013,94	-2803101,68	-2838115,62	1,23
M <sub>yed</sub> [N*m]	320,17	100,50	10,25	-9,34	2,89	216,52	-138,25	-0,49	470,94	-118829,59	-119300,53	0,39
T <sub>yed</sub> [N/m]	-9083,39	10329,17	-11612,00	-2105,63	155,88	-12934,13	161,77	-3603,20	27016,02	-227562,20	-254578,22	10,61
T <sub>zed</sub> [N/m]	659,04	249,06	16,24	-11,69	4,12	378,87	-295,90	-0,78	971,44	-227724,26	-228695,70	0,42
M <sub>zed</sub> [N*m]	-2684,82	3053,04	-3432,21	-622,37	46,08	-3823,00	47,82	-1065,01	7985,24	-67261,50	-75246,74	10,61

Tabella 3.33 Output delle sollecitazioni da FEM

- 3° elemento selezionato: Base arco lato corto

Analisi con murature	Base arco lato corto - Elemento 16771 - Shell 181											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
N <sub>ed</sub> [N/m]	6556,55	-173,67	-38122,96	27115,46	-1741,61	14231,69	8949,88	-20495,26	13627,18	-1965850,79	-1979477,97	0,69
M <sub>yed</sub> [N*m]	-0,02	-0,92	799,56	-446,52	40,06	0,60	-0,30	409,42	712,57	-81684,34	-82396,91	0,86
T <sub>yed</sub> [N/m]	-682,17	110,03	15380,04	-8227,53	628,53	-2103,10	-826,54	7583,61	10849,94	11425,29	22275,24	48,71
T <sub>zed</sub> [N/m]	-0,47	-1,07	1424,16	-1616,57	97,69	-6,96	-0,03	935,86	870,91	-245014,34	-245885,26	0,35
M <sub>zed</sub> [N*m]	-166,47	26,85	3753,14	-2007,74	153,38	-513,21	-201,70	1850,60	2647,67	2788,07	5435,75	48,71

Tabella 3.34 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Base arco lato corto - Elemento 16771 - Shell 181											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
N <sub>ed</sub> [N/m]	21836,27	-180,20	-11147,20	9108,71	-386,19	47424,30	29799,96	-6105,41	77356,29	-1965850,79	-2043207,08	3,79
M <sub>yed</sub> [N*m]	0,00	-1,00	240,46	-125,05	13,15	0,08	-0,09	122,87	222,93	-81684,34	-81907,27	0,27
T <sub>yed</sub> [N/m]	-2273,87	110,65	4603,65	-2895,41	131,98	-7184,59	-2728,15	2276,53	7344,08	11425,29	18769,37	39,13
T <sub>zed</sub> [N/m]	-0,12	-1,21	428,10	-459,43	31,59	-2,30	-0,01	280,83	276,86	-245014,34	-245291,21	0,11
M <sub>zed</sub> [N*m]	-554,88	27,00	1123,41	-706,56	32,21	-1753,23	-665,74	555,53	1792,15	2788,07	4580,22	39,13

Tabella 3.35 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Analisi con murature	Base arco lato corto - Elemento 16771 - Shell 181											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	6557,73	-553,69	-11071,37	13388,63	111,46	14166,49	8941,06	-6118,69	23273,25	-1965850,79	-1989124,05	1,17
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	0,03	-3,39	242,45	-95,37	16,93	-0,23	-0,10	123,00	254,05	-81684,34	-81938,38	0,31
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	-683,69	358,48	4485,59	-4150,38	-48,66	-2125,31	-819,94	2267,49	1912,20	11425,29	13337,49	14,34
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	-0,07	-4,16	430,95	-374,31	39,22	-3,00	-0,03	281,06	340,58	-245014,34	-245354,92	0,14
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-166,84	87,48	1094,60	-1012,80	-11,87	-518,63	-200,09	553,33	466,63	2788,07	3254,70	14,34

Tabella 3.36 Output delle sollecitazioni da FEM

- 4° elemento selezionato: Base del 5° pilastro della pensilina (lato lungo)

Analisi con murature	5° Pilastro lato lungo base- Elemento 17940 - Beam 188											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-0,03	26,45	1,05	-2,15	0,91	0,07	0,00	-0,03	26,36	-73403,82	-73430,17	0,04
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	0,00	0,00	4,49	0,39	0,11	-0,06	0,00	1,71	6,08	-48,93	-55,01	11,05
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-7,03	0,31	-0,82	-0,15	0,04	23,83	46,66	0,14	66,12	1359,30	1425,42	4,64
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	19,98	-9,06	-0,13	0,70	-0,30	26,77	14,63	0,08	44,35	1063,36	1107,71	4,00
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,07	-0,09	-1,95	-0,16	-0,05	-0,02	-0,11	-0,09	2,35	21,92	24,26	9,68

Tabella 3.37 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	5° Pilastro lato lungo base- Elemento 17940 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-0,03	26,45	1,05	-2,15	0,91	0,07	0,00	-0,03	26,36	-73403,82	-73430,17	0,04
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	0,01	0,00	1,35	0,12	0,03	-0,02	-0,02	0,51	1,81	-48,93	-50,74	3,57
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-23,43	0,12	-2,77	-0,42	0,11	79,44	155,53	0,47	220,10	1359,30	1579,40	13,94
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	66,58	-8,75	0,32	0,82	-0,31	89,25	48,77	0,22	161,39	1063,36	1224,75	13,18
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,24	-0,09	-0,58	-0,04	-0,02	-0,05	-0,37	-0,03	1,01	21,92	22,93	4,43

Tabella 3.38 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	5° Pilastro lato lungo base- Elemento 17940 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-0,10	88,16	3,51	-7,17	3,03	0,25	-0,01	-0,10	87,86	-73403,82	-73491,68	0,12
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	0,00	-0,01	1,35	0,12	0,03	-0,02	0,00	0,51	1,82	-48,93	-50,75	3,58
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-7,03	1,25	-0,79	-0,21	0,07	23,83	46,66	0,14	66,42	1359,30	1425,72	4,66
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	20,00	-30,50	-0,93	2,19	-1,00	26,75	14,63	0,11	36,07	1063,36	1099,43	3,28
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	0,07	-0,30	-0,59	-0,03	-0,02	-0,02	-0,11	-0,03	0,92	21,92	22,84	4,04

Tabella 3.39 Output delle sollecitazioni da FEM

- 5° elemento selezionato: Sommità del 5° pilastro della pensilina (lato lungo)

Analisi con murature	5° Pilastro lato lungo sommità- Elemento 17940 - Beam 188											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-0,03	24,12	1,13	-2,25	0,98	0,06	0,00	-0,03	24,05	-49025,42	-49049,46	0,05
$M_{y_{ed}}$ [N*m]	-0,12	0,16	-4,12	-0,37	-0,09	0,11	0,19	-1,89	5,56	31,65	37,21	14,95
$M_{z_{ed}}$ [N*m]	-22,09	9,85	-0,79	-0,88	0,37	13,52	54,20	0,14	64,80	-3930,42	-3995,22	1,62
$T_{y_{ed}}$ [N/m]	229,57	-81,66	5,61	7,28	-3,00	36,89	-265,39	-0,53	260,99	1718,93	1979,91	13,18
$T_{z_{ed}}$ [N/m]	-0,79	1,02	-1,92	-0,33	0,00	0,45	1,20	-8,54	8,48	16,33	24,81	34,18

Tabella 3.40 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Analisi con murature	5° Pilastro lato lungo sommità- Elemento 17940 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-0,03	24,12	1,13	-2,25	0,98	0,06	0,01	-0,03	24,05	-49025,42	-49049,47	0,05
$My_{ed}$ [N*m]	-0,42	0,16	-1,25	-0,12	-0,02	0,12	0,64	-0,57	1,21	31,65	32,85	3,67
$Mz_{ed}$ [N*m]	-73,60	9,40	-3,46	-1,29	0,46	45,04	180,68	0,53	212,00	-3930,42	-4142,41	5,12
$Ty_{ed}$ [N/m]	765,02	-77,41	25,48	10,55	-3,62	123,20	-884,66	-2,13	928,54	1718,93	2647,47	35,07
$Tz_{ed}$ [N/m]	-2,67	1,00	-0,67	-0,15	0,01	0,67	4,06	-2,55	2,66	16,33	18,99	14,02

Tabella 3.41 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	5° Pilastro lato lungo sommità- Elemento 17940 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-0,09	80,39	3,76	-7,52	3,28	0,19	-0,01	-0,09	80,16	-49025,42	-49105,57	0,16
$My_{ed}$ [N*m]	-0,13	0,53	-1,23	-0,13	-0,02	0,06	0,19	-0,57	1,38	31,65	33,03	4,17
$Mz_{ed}$ [N*m]	-22,11	33,29	0,08	-2,52	1,13	13,54	54,20	0,11	73,73	-3930,42	-4004,15	1,84
$Ty_{ed}$ [N/m]	229,77	-276,46	-1,67	20,86	-9,34	36,71	-265,37	-0,26	293,12	1718,93	2012,05	14,57
$Tz_{ed}$ [N/m]	-0,80	3,38	-0,55	-0,24	0,04	0,27	1,21	-2,55	2,86	16,33	19,19	14,92

Tabella 3.42 Output delle sollecitazioni da FEM

- 6° elemento selezionato: Mezzeria della nervatura principale della volta

Analisi con murature	Nervatura volta mezzeria - Elemento 6187 - Beam 188											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	20,47	383,39	4950,31	483,30	176,40	-2276,44	607,93	1540,85	5160,03	-133185,42	-138345,45	3,73
$My_{ed}$ [N*m]	0,28	-0,57	0,01	0,40	0,08	-0,17	0,48	-0,40	0,46	-1156,94	-1157,40	0,04
$Mz_{ed}$ [N*m]	-2,04	-0,10	-0,15	0,21	0,02	-1,96	-3,35	-1,08	6,86	-165,89	-172,75	3,97
$Ty_{ed}$ [N/m]	1,39	0,32	4,09	-0,27	0,28	-1,60	2,61	2,00	7,20	158,60	165,80	4,35
$Tz_{ed}$ [N/m]	0,50	0,01	1,16	1,18	-0,03	-2,59	1,11	-0,72	0,69	-634,51	-635,20	0,11

Tabella 3.43 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Nervatura volta mezzeria - Elemento 6187 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	82,10	379,78	1469,50	123,58	33,58	-7632,57	2012,70	465,63	3975,80	-133185,42	-137161,23	2,90
$My_{ed}$ [N*m]	0,93	-0,57	0,02	0,24	0,09	-0,25	1,63	-0,12	1,72	-1156,94	-1158,66	0,15
$Mz_{ed}$ [N*m]	-6,85	-0,09	-0,20	0,48	-0,01	-5,13	-11,08	-0,34	18,85	-165,89	-184,74	10,20
$Ty_{ed}$ [N/m]	4,67	0,32	1,21	-0,26	0,08	-6,56	8,60	0,59	7,36	158,60	165,96	4,43
$Tz_{ed}$ [N/m]	1,66	0,01	0,26	0,35	0,01	-7,89	3,74	-0,22	4,23	-634,51	-638,74	0,66

Tabella 3.44 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Nervatura volta mezzeria - Elemento 6187 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	24,33	1271,16	1437,99	165,69	-26,74	-2279,34	604,74	460,08	1421,44	-133185,42	-134606,86	1,06
$My_{ed}$ [N*m]	0,28	-1,91	0,15	0,74	0,31	-0,08	0,49	-0,11	1,60	-1156,94	-1158,54	0,14
$Mz_{ed}$ [N*m]	-2,05	-0,33	-0,23	1,38	-0,10	-1,69	-3,33	-0,33	5,33	-165,89	-171,21	3,11
$Ty_{ed}$ [N/m]	1,40	1,06	1,27	-0,84	0,09	-1,85	2,59	0,60	3,41	158,60	162,01	2,10
$Tz_{ed}$ [N/m]	0,50	0,04	0,36	0,56	0,05	-2,41	1,12	-0,22	0,72	-634,51	-635,24	0,11

Tabella 3.45 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

- 7° elemento selezionato: Base della nervatura principale della volta

Analisi con murature	Nervatura volta base - Elemento 6187 - Beam 188											
	Combinazione 1 - 0,3 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-318,52	253,46	-539,60	777,58	-45,02	-1873,17	-654,84	427,48	1980,60	-12644,01	-14624,61	13,54
$M_{yed}$ [N*m]	-2,40	-1,85	23,89	2,20	0,53	-7,81	-3,52	7,69	19,49	2656,46	2675,95	0,73
$M_{zed}$ [N*m]	5,48	-0,11	73,83	18,11	1,18	25,90	14,98	21,89	148,44	-2237,19	-2385,63	6,22
$T_{yed}$ [N/m]	0,62	-2,00	13,81	29,08	-1,08	21,76	20,26	6,67	85,33	-2756,50	-2841,83	3,00
$T_{zed}$ [N/m]	9,34	2,72	-68,80	-1,93	-1,49	21,24	8,84	-25,41	57,27	-7707,12	-7764,38	0,74

Tabella 3.46 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Nervatura volta base - Elemento 6187 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 1 - 0,3								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-1048,94	250,09	-268,62	319,17	6,56	-5789,78	-2173,75	119,89	7860,44	-12644,01	-20504,45	38,34
$M_{yed}$ [N*m]	-7,98	-1,85	6,87	0,13	0,17	-23,71	-11,70	2,29	30,31	2656,46	2686,77	1,13
$M_{zed}$ [N*m]	18,29	-0,06	23,26	5,63	0,34	94,04	50,13	6,62	179,39	-2237,19	-2416,58	7,42
$T_{yed}$ [N/m]	2,07	-1,87	6,44	9,05	-0,22	85,67	68,02	2,09	164,47	-2756,50	-2920,97	5,63
$T_{zed}$ [N/m]	31,03	2,68	-19,28	0,35	-0,33	62,02	29,39	-7,52	81,50	-7707,12	-7788,61	1,05

Tabella 3.47 Output delle sollecitazioni da FEM

Analisi con murature	Nervatura volta base - Elemento 6187 - Beam 188											
	Combinazione 0,3 - 0,3 - 1								CQC	Risultati da analisi statica	Combinazione statica +  dinamica	Incremento [%]
	modo 2	modo 4	modo 23	modo 24	modo 25	modo 31	modo 43	modo 45				
$N_{ed}$ [N/m]	-315,17	838,94	-139,41	494,48	55,88	-1768,99	-652,61	127,64	1664,04	-12644,01	-14308,05	11,63
$M_{yed}$ [N*m]	-2,39	-6,18	7,19	-1,42	0,17	-7,26	-3,51	2,31	9,86	2656,46	2666,33	0,37
$M_{zed}$ [N*m]	5,49	-0,48	22,43	5,74	0,39	27,68	15,02	6,58	75,68	-2237,19	-2312,87	3,27
$T_{yed}$ [N/m]	0,61	-6,86	5,27	9,74	0,37	24,89	20,37	2,05	57,43	-2756,50	-2813,93	2,04
$T_{zed}$ [N/m]	9,31	9,16	-19,92	2,85	0,23	19,15	8,82	-7,59	20,40	-7707,12	-7727,52	0,26

Tabella 3.48 Output delle sollecitazioni da FEM

### 3.9 Verifiche

Sulla base dei risultati ottenuti sono state condotte le verifiche di resistenza nelle sezioni di controllo. La procedura di calcolo adottata è quella prevista da normativa per la verifica degli elementi in calcestruzzo armato sollecitati a pressoflessione semplice e taglio – sforzo normale. In Tabella 3.49 e Tabella 3.50 si riportano le caratteristiche meccaniche di acciaio e calcestruzzo utilizzati all’epoca della costruzione del padiglione C. I dati sono stati ricavati facendo affidamento in parte alle relazioni tecniche redatte da P. L. Nervi.

<b>Acciaio Semi duro (R.D.L. n°229/1939) equivalente all'Aq50 (LL.PP. N°1472/1957)</b>	
$f_{yk}$ [kg/mm <sup>2</sup> ]	27,00
$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87
$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20
F.C. [-]	1,35

Tabella 3.49 Caratteristiche Meccaniche dell'acciaio

<b>Calcestruzzo ad alta resistenza o alluminoso (R.D.L. n°229/1939) denominato anche calcestruzzo tipo 680</b>	
$R_{ck}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	250,00
$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36
$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82
F.C. [-]	1,35
$\alpha_{cc}$ [-]	0,85

Tabella 3.50 Caratteristiche Meccaniche del calcestruzzo

Dagli stralci di relazione tecnica disponibile, reperiti mediante [13], si evince che si fece uso di due tipi di acciaio, acciaio semi duro e acciaio duro. Purtroppo a causa dell’incompletezza delle tavole e della stessa relazione non è dato sapere in quali elementi strutturali sia stato utilizzato il primo tipo piuttosto che il secondo, perciò cautelativamente, per gli elementi verificati è stato ipotizzato l’utilizzo dell’acciaio semi duro. Le caratteristiche meccaniche di tale materiale sono reperibili in [14] (Allegato C). Per quanto riguarda il calcestruzzo, venne utilizzato in prevalenza il conglomerato denominato come “calcestruzzo tipo 680”, il quale è ascrivibile alla classe dei calcestruzzi ad alta resistenza o alluminosi come riportato in [14]. Da ulteriori ricerche è emerso che tale tipologia di calcestruzzo è stata utilizzata in altre tipologie di costruzione risalenti alla stessa epoca del padiglione C, in particolare, mediante le informazioni riportate in [15] sono state reperite le esatte caratteristiche meccaniche di tale calcestruzzo. Sebbene venga riportata una resistenza di 300 kg/cm<sup>2</sup>, si è deciso di cautelarsi utilizzando una resistenza di 250 kg/cm<sup>2</sup>. Infine i valori di calcolo delle resistenze sono stati ottenuti a partire dai valori caratteristici considerati come medi, dividendoli per il fattore di confidenza FC posto pari a 1,35, secondo quanto riportato in [16] (§8A.1.B.3 e

C8A.1.B.4); inoltre per il calcestruzzo è stato ritenuto opportuno applicare il coefficiente riduttivo  $\alpha_{cc}$  che tiene in conto degli effetti della viscosità.

### 3.9.1 Verifica degli elementi di copertura in ferrocimento

La copertura del padiglione è costituita da una serie di elementi romboidali in ferrocimento di ridotto spessore. Il ferrocimento è un materiale composito simile al calcestruzzo armato, a differenza di quest'ultimo differisce per via del ridotto spessore e per la presenza di più strati di armatura di piccolo diametro sovrapposta, costituita generalmente da reti aventi tessitura variabile. Il ferrocimento può quindi essere considerato un materiale laminare e pertanto presenta generalmente un comportamento ortotropo, tuttavia se la maglia dell'armatura è quadrata (come nel caso oggetto di studio Figura 3.33) è dotato di caratteristiche isotrope nelle due direzioni principali, come riportato in [12]. A livello di calcolo, in prima approssimazione il ferrocimento può essere trattato utilizzando le medesime considerazioni che vengono fatte per le travi in calcestruzzo armato, utilizzando quindi i modelli proposti in normativa. Nel caso venga adottato il precedente metodo si compie in genere un errore a favore di sicurezza, poiché vengono sottostimate le reali capacità di tale materiale. Volendo utilizzare invece un modello più aderente al reale comportamento, occorre costruire il legame costitutivo del materiale che varia a seconda delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio utilizzato, nonché dal numero di strati di armatura, dalla tessitura della maglia e dal diametro delle barre. Conoscendo questi elementi è possibile costruire tale modello, come proposto in [12], al fine di poter effettuare una verifica in termini tensionali nelle due direzioni principali. In seguito si riporta un esempio di legame costitutivo per un generico pannello in ferrocimento.

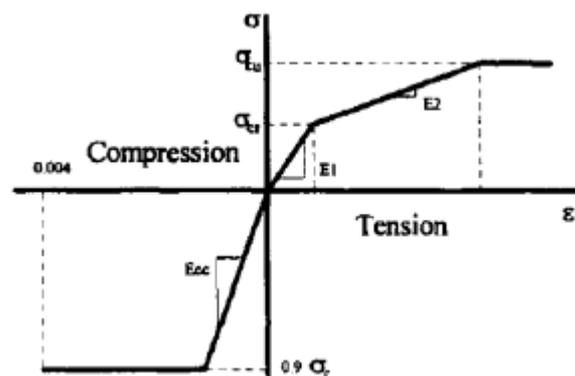


Figura 3.46 Legame costitutivo di un generico pannello in ferrocimento [12]

$$V_r = \frac{N \cdot \pi \cdot dw^2}{2 \cdot h \cdot D} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 5^2}{2 \cdot 45 \cdot 200} = 0,87\% \quad (3.2)$$

$$S_r = \frac{4 \cdot V_r}{d_w} = \frac{4 \cdot 0,87 / 100}{5} = 0,0069 \text{ mm}^2 / \text{mm}^3 \quad (3.3)$$

$$\sigma_{cr} = \sigma_{mu} + 25 \cdot \eta \cdot S_r = 12,82 + 25 \cdot 0,5 \cdot 0,0069 = 12,90 \text{ N} / \text{mm}^2 \quad (3.4)$$

$$\sigma_c = \sigma_{mu} = 0,9 \cdot \sigma_r = 12,82 N / mm^2 \quad (3.5)$$

I valori ottenuti mediante le (3.2), (3.3), (3.4) e (3.5), proposti da [12] sono le caratteristiche meccaniche dei pannelli in ferrocemento utilizzati da P.L. Nervi per la copertura del salone C. I valori di resistenza della malta cementizia e dell'acciaio sono gli stessi adottati per le travi in calcestruzzo armato; sono state utilizzate nel calcolo 2 reti sovrapposte a maglia quadrata aventi diametro di 5mm e spaziatura pari a 20 cm.

I pannelli in ferrocemento sono stati quindi verificati utilizzando sia il modello a trave in calcestruzzo armato, mediante una verifica a pressoflessione, che quello proposto in [12], mediante una verifica dello stato tensionale. Cautelativamente, in accordo alla scarsa variazione dei risultati ottenuti precedentemente per i valori resistenti in trazione e compressione è stato utilizzato come unico valore per le verifiche in termini di tensione la resistenza della malta, ovvero  $\sigma_c = \sigma_{mu} = 12,82 N / mm^2$ . Nel seguito sono riportati i risultati ottenuti. Per le caratteristiche geometriche della sezione si faccia riferimento all'abaco delle sezioni riportato negli Allegati D.

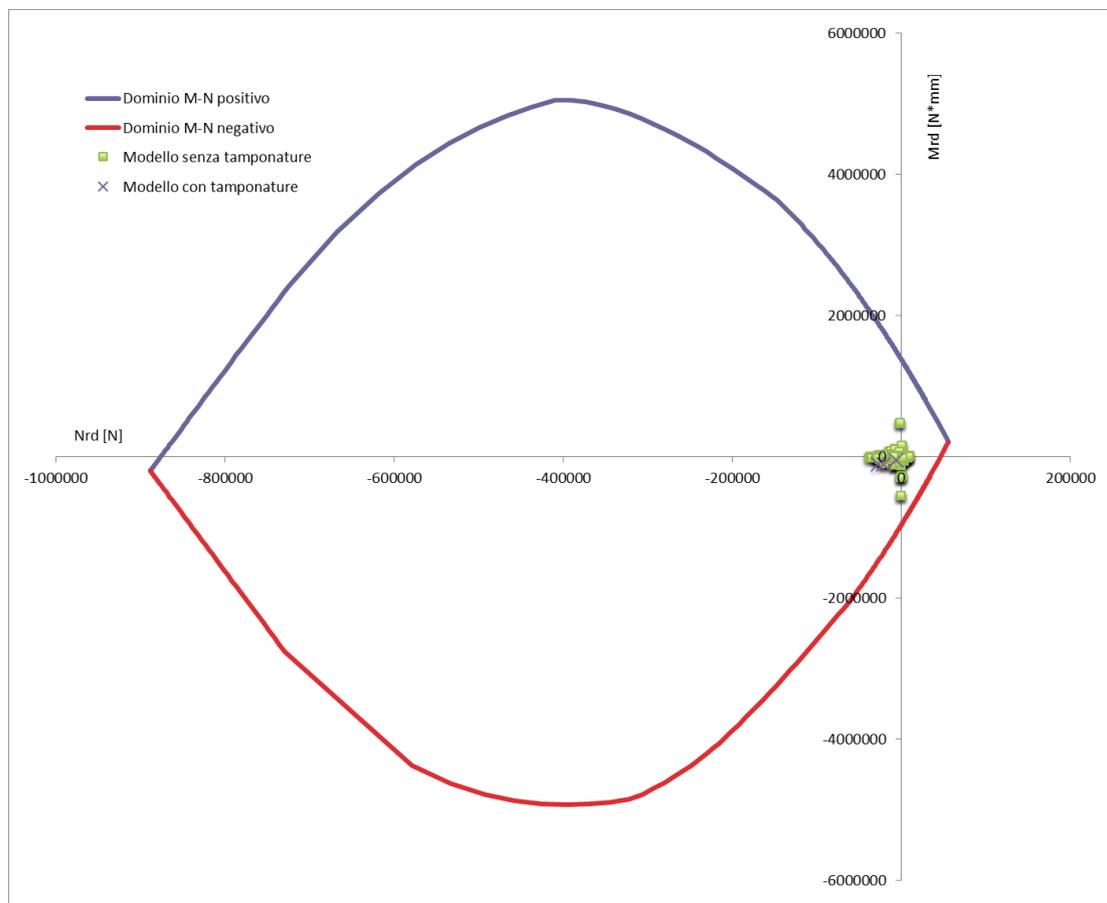


Figura 3.47 Diagramma di interazione degli elementi in ferrocemento (copertura volta)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Verifica elementi in ferrocemento della volta di copertura - Modello senza muratura di tamponamento														
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3														
Id elemento	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 2	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 4	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 23	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 24	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 25	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 31	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 43	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 45	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] CQC	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] statica	$\sigma_{ed}$ Combinazione statica + dinamica [N/mm <sup>2</sup> ]	Incremento [%]	$\sigma_{rd}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ferrocemento	Esito verifica
7578	3702,28	686,68	83315,72	61199,42	45782,37	908,30	11246,69	12972,12	193397,40	1581289,97	1,77	10,90	12,82	Verificato
7579	3756,96	657,46	94172,65	58127,94	40878,15	905,22	9463,12	12723,56	195906,34	1873523,93	2,07	9,47	12,82	Verificato
7582	3414,17	549,66	93796,73	75949,63	30121,84	1246,97	12915,38	12087,80	203119,58	1297520,91	1,50	13,54	12,82	Verificato
7583	3501,76	520,81	94306,34	71501,77	25455,66	1171,18	11264,78	12052,56	194278,92	1378856,18	1,57	12,35	12,82	Verificato
8057	12056,04	2818,30	51043,31	407557,81	192356,30	3233,57	23386,68	45726,58	659704,98	1806112,82	2,47	26,75	12,82	Verificato
8058	11494,73	2556,36	34944,86	416220,29	221486,71	2913,02	26000,79	46286,27	681660,07	1888656,27	2,57	26,52	12,82	Verificato
8059	10719,53	2247,23	20426,97	412300,95	247783,42	2541,57	28244,59	45118,54	689506,78	1826696,59	2,52	27,40	12,82	Verificato
8063	11526,91	2566,97	37284,04	417268,30	225183,30	2924,30	25660,93	46773,05	688721,23	1880849,14	2,57	26,80	12,82	Verificato
8235	10859,71	2277,00	15744,73	413966,79	247173,63	2552,41	28898,10	45269,27	686061,80	1853300,53	2,54	27,02	12,82	Verificato
8236	11573,90	2571,39	29204,86	414313,02	221894,82	2924,18	26585,56	45817,18	674512,32	1760307,49	2,43	27,70	12,82	Verificato
8239	10193,80	2001,72	7033,37	410874,83	269971,09	2190,15	30987,69	43804,65	696954,24	1856903,52	2,55	27,29	12,82	Verificato
8240	10862,70	2279,77	13571,12	413679,62	245872,48	2550,07	28887,21	45127,97	682306,30	1853002,54	2,54	26,91	12,82	Verificato
8243	9172,88	1645,25	16148,24	397532,38	289547,09	1770,80	32751,59	40728,49	711773,97	1851785,52	2,56	27,77	12,82	Verificato
8244	10074,30	1972,55	2596,00	406316,60	269527,60	2167,27	30863,43	43204,55	687457,40	1900160,91	2,59	26,57	12,82	Verificato
8683	3675,51	502,47	91762,86	53710,32	22087,62	1015,37	8879,77	12311,45	170367,41	1437717,33	1,61	10,59	12,82	Verificato
8684	3923,08	662,74	98868,31	45142,86	5402,25	874,51	6820,55	13022,57	152172,70	2314055,18	1,47	6,17	12,82	Verificato
8687	3535,91	546,22	84048,43	60272,60	23918,82	1103,48	10483,68	12491,16	171382,86	1425507,33	2,60	10,73	12,82	Verificato
8688	3791,08	680,21	94452,75	48978,97	8453,65	863,33	8756,39	13237,42	155001,61	1918149,01	2,07	7,48	12,82	Verificato
8691	3446,59	578,21	81210,90	63025,64	19938,00	1174,53	12086,62	12555,92	167708,59	1309114,49	1,48	11,36	12,82	Verificato
8754	738,27	2026,05	111780,41	30224,77	44684,47	3208,96	34651,14	3823,98	193557,78	1500934,88	1,69	11,42	12,82	Verificato
8755	689,56	1880,98	93443,80	30414,25	44675,61	3415,12	38450,39	4759,11	177224,64	1238483,27	1,42	12,52	12,82	Verificato
8758	577,35	2321,12	60182,39	28210,08	48430,20	3042,01	39924,88	4844,64	147200,35	1943807,64	2,09	7,04	12,82	Verificato
8759	510,87	2190,94	72351,07	28518,61	47873,66	3253,84	43898,71	5285,72	160154,78	1394113,27	1,55	10,30	12,82	Verificato
10059	807,64	2251,71	194549,42	28782,39	41947,73	3140,34	36205,10	3703,24	674253,32	1620601,51	1,89	14,34	12,82	Verificato
10060	657,07	2552,02	89467,73	28183,18	46745,98	2998,31	40076,38	5148,58	173757,58	2285664,32	2,46	7,06	12,82	Verificato
10063	731,53	2074,81	189101,66	30439,98	41443,18	3249,72	38317,73	3944,87	267507,66	1518670,66	1,79	14,98	12,82	Verificato
10064	565,67	2373,01	79786,34	28046,95	45879,45	3077,45	43422,08	4932,65	164556,44	1962337,99	2,13	7,74	12,82	Verificato
10359	1972,06	2568,43	73312,19	15363,16	27627,68	2761,17	59895,17	3216,10	136337,87	691415,53	0,83	16,47	12,82	Verificato
10360	2243,41	2512,17	46839,01	14860,17	26766,57	3681,33	35519,86	10644,72	103246,83	659006,02	0,76	13,54	12,82	Verificato
10603	2946,85	800,62	123356,24	97752,14	43410,96	1373,77	15399,56	11447,92	267632,27	1136742,02	1,40	19,06	12,82	Verificato
10627	3442,04	569,79	98697,75	76149,86	24068,14	1236,05	12151,55	12239,23	202075,81	1297693,56	1,50	13,47	12,82	Verificato
10628	3286,68	682,63	108082,64	87201,16	33206,34	1322,19	13818,08	11942,55	231670,45	1212550,29	1,44	16,04	12,82	Verificato
10631	3730,88	708,63	86603,62	61244,90	40285,46	897,27	10540,18	13217,79	191175,17	1582694,32	1,77	10,78	12,82	Verificato
10632	3685,50	804,01	91285,48	73389,08	47950,86	938,10	12307,79	13504,30	215831,80	1290839,43	1,51	14,33	12,82	Verificato
11395	756,59	2069,83	201435,65	31367,32	41057,09	3228,21	33607,90	4133,93	279315,59	1694471,99	1,97	14,15	12,82	Verificato
11396	827,99	2238,75	204089,30	29651,11	41341,07	3109,02	31356,37	3834,72	280034,99	1803648,76	2,08	13,44	12,82	Verificato
11399	599,34	2352,40	90756,22	28945,54	45843,03	3037,41	38615,69	5231,20	174431,08	2182515,97	2,36	7,40	12,82	Verificato
11400	707,00	2525,43	100642,95	29530,08	47006,80	2958,07	34891,54	5396,12	184685,59	2684122,29	2,87	6,44	12,82	Verificato
12595	1689,15	2557,73	115449,09	16072,11	23746,62	1882,72	74813,63	11601,69	182296,61	736232,69	0,92	19,85	12,82	Verificato
12596	1978,55	2563,03	62543,02	15443,82	27082,96	2795,26	55041,06	2993,28	132825,65	709380,77	0,83	14,86	12,82	Verificato
12599	1951,73	2572,88	61597,23	15821,16	26589,51	2754,10	54875,13	4747,32	123675,53	653957,01	0,78	15,90	12,82	Verificato
12600	2250,27	2507,77	12002,35	14898,75	26332,27	3703,56	34311,91	11623,58	73468,11	672249,11	0,75	9,85	12,82	Verificato
13785	11865,45	2768,62	53748,19	409776,02	201454,53	3226,67	23982,05	45365,49	673653,19	1865180,72	2,54	26,53	12,82	Verificato
13786	11296,29	2498,26	37952,47	420456,07	236969,37	2911,74	26592,36	45808,93	704242,50	1951669,22	2,66	26,52	12,82	Verificato
13787	10524,02	2183,28	25009,38	418945,44	269605,19	2546,23	28830,89	44585,62	722341,59	1882520,50	2,60	27,73	12,82	Verificato
13789	12261,23	3009,14	74362,31	396752,75	163640,32	3504,04	21197,49	43554,74	642979,53	1910974,43	2,55	25,18	12,82	Verificato
13790	12003,07	2805,27	55606,15	413865,86	203987,06	3255,60	23791,56	46197,30	682197,29	1889524,86	2,57	26,53	12,82	Verificato
13791	11303,94	2502,45	40046,01	421946,59	242032,55	2928,81	26242,81	46236,60	712849,84	1948425,84	2,66	26,79	12,82	Verificato
13792	10543,51	2194,08	28430,03	418118,26	271019,34	2530,67	28341,61	44574,52	726236,02	1885767,70	2,61	27,80	12,82	Verificato
13793	12430,92	3172,03	90546,00	370507,60	119303,21	3688,11	18165,88	39955,48	587940,21	1798019,26	2,39	24,64	12,82	Verificato
13794	12455,09	3040,62	73098,93	394737,82	160984,20	3498,05	20970,04	43812,44	637100,91	1913273,43	2,55	24,98	12,82	Verificato
13795	11993,52	2807,34	55750,76	412952,38	204205,61	3238,52	23484,49	46059,29	681575,09	1905305,39	2,59	26,35	12,82	Verificato
14067	780,86	2109,84	150327,35	31607,96	44721,65	3182,66	34506,52	3878,64	232795,77	1670278,37	1,90	12,23	12,82	Verificato
14068	850,01	2281,35	152844,87	30094,66	45272,54	3063,44	32273,26	3775,70	233807,35	1777748,21	2,01	11,62	12,82	Verificato
14071	602,24	2392,17	50021,43	29493,66	48635,75	2991,75	39285,68	5130,11	138845,72	2156834,49	2,30	6,05	12,82	Verificato
14072	705,58	2567,28	53910,36	30266,08	50382,17	2909,20	35552,16	5465,94	143716,32	2651029,02	2,79	5,14	12,82	Verificato
14545	3787,20	652,13	96610,44	48012,55	9871,42	861,35	9521,31	12709,23	157623,45	1904961,64	2,06	7,64	12,82	Verificato
14546	3543,56	508,51	85540,26	59734,68	25487,84	1119,53	11255,93	11973,52	173929,95	1411120,08	1,59	10,97	12,82	Verificato
14716	3976,20	740,83	90137,96	47499,59	10145,81	939,81	9366,09	13282,13	151113,18	1838951,46	1,99	7,59	12,82	Verificato
14833	12159,82	3373,27	146546,10	340320,20	64073,15	3988,84	14260,86	33298,39	557181,76	1767534,77	2,32	23,97	12,82	Verificato
14835	12104,96	3360,43	124310,25	337371,03	61041,93	3984,61	13865,90	33057,09	529030,78	1745990,39	2,28	23,25	12,82	Verificato
15029	2065,11	2574,60	58899,84	16021,05	29312,80	3195,52	47313,11	7290,67	121384,74	763023,77	0,88	13,72	12,82	Verificato
15031	2362,56	2505,66	63843,09	15377,96	34256,98	4092,61	25277,06	15241,65	132874,75	637365,24	0,76	16,27	12,82	Verificato
15032	2321,81	2522,23	68568,73	16451,08	37236,00	4033,37	25568,60	15766,83	632446,08	729233,10	0,86	15,37	12,82	Verificato
15039	2402,45	2499,58	48284,48	15335,35	33890,04	4164,59	25152,49	15289,59	108957,86	840826,20	0,95	11,47	12,82	Verificato
15244	12330,39	3396,17	143354,57	344758,98										

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Verifica elementi in ferrocemento della volta di copertura - Modello senza muratura di tamponamento														
Combinazione 0,3- 1 - 0,3														
Id elemento	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 2	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 4	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 23	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 24	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 25	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 31	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 43	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 45	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] CQC	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] statica	$\sigma_{ed}$ Combinazione statica + dinamica [N/mm <sup>2</sup> ]	Incremento [%]	$\sigma_{ed}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ferrocemento	Esito verifica
7578	3658,51	689,37	63000,85	220211,88	140871,39	1010,35	3914,10	12877,80	425519,74	1581289,97	2,01	21,20	12,82	Verificato
7579	3713,17	659,27	59467,02	211329,75	124926,20	1010,02	3357,55	12627,48	397130,32	1873523,93	2,27	17,49	12,82	Verificato
7582	3374,29	551,97	68668,28	265652,07	91305,37	1401,94	4359,52	11999,35	427137,10	1297520,91	1,72	24,77	12,82	Verificato
7583	3461,20	521,80	65229,36	252780,09	74028,17	1315,04	3844,81	11955,96	393529,12	1378856,18	1,77	22,20	12,82	Verificato
8057	11904,78	2865,52	16712,38	1359812,30	639853,37	3729,70	8212,07	45589,87	2021176,16	1806112,82	3,83	52,81	12,82	Verificato
8058	11350,65	2598,99	21337,39	1388735,35	736924,11	3357,35	8934,55	46146,59	2151635,52	1888656,27	4,04	53,25	12,82	Verificato
8059	10584,89	2284,69	25553,57	1375711,62	824598,10	2927,45	9524,77	44983,35	2230204,79	1826696,59	4,06	54,97	12,82	Verificato
8063	11382,36	2609,83	21517,83	1392215,16	749354,55	3370,12	8816,87	46632,14	2167747,51	1880849,14	4,05	53,54	12,82	Verificato
8235	10722,89	2315,11	26464,92	1381310,50	822469,79	2941,05	9721,38	45132,83	2234622,32	1853300,53	4,09	54,66	12,82	Verificato
8236	11428,37	2614,51	22635,43	1382368,42	738329,07	3371,27	9113,91	45678,67	2147956,24	1760307,49	3,91	54,96	12,82	Verificato
8239	10065,81	2034,96	29569,26	1371057,55	898395,41	2521,12	10244,92	43673,72	2303102,40	1856903,52	4,16	55,36	12,82	Verificato
8240	10725,84	2317,92	26498,12	1380350,83	818176,50	2938,30	9718,59	44991,91	2229394,75	1853002,54	4,08	54,61	12,82	Verificato
8243	9058,29	1672,18	32510,64	1326619,70	963610,71	2035,12	10659,63	40608,37	2326384,06	1851785,52	4,18	55,68	12,82	Verificato
8244	9947,73	2005,28	29996,59	1355846,39	896971,09	2494,92	10213,17	43075,39	2286837,95	1900160,91	4,19	54,62	12,82	Verificato
8683	3633,02	503,13	56934,62	195574,63	83661,82	1134,64	3072,24	12214,35	337633,16	1437717,33	1,78	19,02	12,82	Verificato
8684	3877,76	664,69	54277,41	168697,35	30444,79	986,56	2502,07	12929,59	255071,59	2314055,18	2,57	9,93	12,82	Verificato
8687	3494,94	547,79	62063,78	216034,39	88757,06	1237,06	3588,06	12396,52	368359,83	1425507,33	1,79	20,53	12,82	Verificato
8688	3746,88	682,58	56650,98	180987,95	32718,12	963,03	3121,92	13138,34	272048,60	1918149,01	2,19	12,42	12,82	Verificato
8691	3406,33	581,17	65918,74	223374,15	76876,32	1318,31	4089,14	12464,55	367754,36	1309114,49	1,68	21,93	12,82	Verificato
8754	731,29	1976,45	32391,01	71456,94	58336,99	3483,96	10460,53	4006,89	164654,51	1500934,88	1,67	9,89	12,82	Verificato
8755	683,05	1834,86	26943,17	71069,86	49653,03	3709,23	11606,16	4979,05	150615,26	1238483,27	1,39	10,84	12,82	Verificato
8758	571,30	2265,25	18597,39	68735,90	74853,34	3313,44	12051,30	5030,47	165044,74	1943807,64	2,11	7,83	12,82	Verificato
8759	505,80	2137,63	22443,38	68895,35	57699,45	3545,39	13250,03	5503,09	152320,89	1394113,27	1,55	9,85	12,82	Verificato
10059	799,94	2197,02	56780,79	67389,39	63920,86	3402,99	10931,24	3852,95	190437,61	1620601,51	1,81	10,52	12,82	Verificato
10060	650,03	2491,93	24331,94	69243,62	74061,44	3255,93	12095,30	5317,71	170499,53	2285664,32	2,46	6,94	12,82	Verificato
10063	724,65	2024,06	25587,77	71204,96	53065,49	3528,01	11567,77	4130,79	152320,89	1518670,66	1,70	10,72	12,82	Verificato
10064	559,80	2315,90	21834,62	68055,22	67950,66	3351,87	13106,72	5121,58	160922,28	1962337,99	2,12	7,58	12,82	Verificato
10359	1949,03	2505,82	22174,73	57217,04	10325,11	3012,95	18062,63	3298,37	94543,53	691415,53	0,79	12,03	12,82	Verificato
10360	2217,16	2450,28	14214,84	56704,12	11448,65	4016,46	10713,40	10914,70	87793,26	659006,02	0,75	11,76	12,82	Verificato
10603	2912,81	807,89	82841,19	337480,12	131522,02	1550,78	5116,65	11369,04	553251,01	1136742,02	1,69	32,74	12,82	Verificato
10627	3401,84	572,70	71878,82	266303,09	70980,92	1389,54	4106,78	12149,29	410692,24	1297693,56	1,71	24,04	12,82	Verificato
10628	3248,47	687,70	76729,37	302150,38	100455,35	1488,60	4624,70	11856,59	480818,65	1212550,29	1,69	28,39	12,82	Verificato
10631	3686,78	711,96	65970,18	220369,59	122311,02	997,67	3679,44	13121,67	410106,92	1582694,32	1,99	20,58	12,82	Verificato
10632	3641,84	810,19	72300,69	259251,52	147148,54	1044,86	4243,38	13411,89	480158,85	1290839,43	1,77	27,11	12,82	Verificato
11395	749,47	2019,44	59358,01	72654,35	52675,18	3504,39	10148,98	4321,35	187021,40	1694471,99	1,88	9,94	12,82	Verificato
11396	820,04	2184,72	59694,60	68861,20	63564,86	3368,00	9465,55	3985,02	174263,42	1803648,76	2,00	9,72	12,82	Verificato
11399	593,31	2296,01	25254,47	69705,52	67296,17	3310,69	11652,77	5424,19	165093,70	2182515,97	2,35	7,03	12,82	Verificato
11400	699,61	2466,66	27721,45	72627,70	77010,83	3212,96	10528,64	5567,79	179945,72	2684122,29	2,86	6,28	12,82	Verificato
12595	1669,52	2495,14	34750,50	57427,05	13615,16	2051,19	22561,01	11929,00	113775,83	736232,69	0,85	13,39	12,82	Verificato
12596	1955,45	2500,53	18880,13	57198,37	8396,24	3050,17	16599,19	3063,66	88993,12	709380,77	0,80	11,15	12,82	Verificato
12599	1928,96	2510,12	18584,73	57516,67	11153,27	3006,01	16549,73	4896,28	92161,17	653957,01	0,75	12,35	12,82	Verificato
12600	2223,95	2445,97	3790,85	56565,63	10518,00	4040,72	10349,55	11921,96	77000,13	672249,11	0,75	10,28	12,82	Verificato
13785	11716,44	2814,99	17689,53	1367199,40	670218,88	3721,65	8398,34	45230,05	2059844,47	1865180,72	3,93	52,48	12,82	Verificato
13786	11154,54	2539,92	22276,56	1402865,18	788483,20	3355,80	9118,24	45670,93	2218176,99	1951669,22	4,17	53,20	12,82	Verificato
13787	10391,65	2219,67	26125,93	1397887,70	897266,12	2932,81	9703,78	44452,31	2325518,97	1882520,50	4,21	55,26	12,82	Verificato
13789	12106,26	3059,92	12285,23	1323705,27	544226,78	4044,19	7600,23	43425,74	1885025,67	1910974,43	3,80	49,66	12,82	Verificato
13790	11852,16	2852,28	17442,55	1380830,99	678610,07	3754,78	8333,63	46059,24	2081685,22	1889524,86	3,97	52,42	12,82	Verificato
13791	11162,01	2544,20	21748,87	1407831,20	805407,48	3375,35	8997,47	46097,59	2239555,17	1948425,84	4,19	53,48	12,82	Verificato
13792	10410,95	2230,60	25577,89	1395120,93	901926,59	2914,79	9539,71	44441,40	2326847,64	1885767,70	4,21	55,24	12,82	Verificato
13793	12273,93	3226,20	8037,93	1236040,77	396551,85	4261,75	6684,84	39837,41	1645363,43	1798019,26	3,44	47,78	12,82	Verificato
13794	12297,26	3091,98	12561,20	1316958,28	535332,88	4035,97	7503,98	43682,64	1869693,91	1913273,43	3,78	49,42	12,82	Verificato
13795	11842,71	2854,36	17142,27	1377795,22	679369,27	3734,97	8211,61	45921,95	2079083,83	1905305,39	3,98	52,18	12,82	Verificato
14067	773,53	2058,54	44188,40	73940,02	59280,68	3455,20	10420,66	4055,75	179787,17	1670278,37	1,85	9,72	12,82	Verificato
14068	841,88	2226,34	44504,15	70721,96	70372,52	3318,95	9743,02	3917,35	187806,67	1777748,21	1,97	9,55	12,82	Verificato
14071	596,25	2334,83	13222,33	71413,80	75572,24	3260,97	11855,57	5317,16	163100,84	2156834,49	2,32	7,03	12,82	Verificato
14072	698,23	2507,52	13935,47	74983,83	85549,02	3159,93	10728,58	5633,17	177138,07	2651029,02	2,83	6,26	12,82	Verificato
14545	3743,12	653,92	56657,85	177881,71	38391,09	959,87	3360,50	12613,48	274576,03	1904961,64	2,18	12,60	12,82	Verificato
14546	3502,56	509,40	62131,68	214344,75	94044,44	1255,39	3827,82	11881,92	371994,73	1411120,08	1,78	20,86	12,82	Verificato
14716	3927,60	745,26	52865,48	174916,15	19707,47	1065,92	3361,64	13186,87	249333,86	1838951,46	2,09	11,94	12,82	Verificato
14833	12006,51	3430,46	14311,39	1135437,46	211969,51	4611,23	5490,37	33199,66	1366153,85	1767534,77	3,13	43,60	12,82	Verificato
14835	11951,72	3417,36	8753,37	1125639,75	201645,15	4602,44	5344,64	32960,47	1340471,39	1745990,39	3,09	43,43	12,82	Verificato
15029	2041,33	2513,00	17819,29	58985,89	21384,79	3488,36	14266,93	7493,62	103022,15	763023,77	0,87	11,90	12,82	Verificato
15031	2335,18	2445,03	19283,87	58841,47	41663,28	4471,48	7623,03	15679,88	124814,46	637365,24	0,76	16,38	12,82	Verificato
15032	2294,96	2462,02	20549,27	60804,11	46675,93	4411,38	7711,38	16236,96	133025,89	729233,10	0,86	15,43	12,82	Verificato
15039	2374,66	2438,72	14403,01	59308,43	26414,18	4550,26	7585,63	15717,55	105654,37	840826,20	0,95	11,16	12,82	Verificato
15244	12174,96	3453,76	14701,9											

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Verifica elementi in ferrocemento della volta di copertura - Modello senza muratura di tamponamento														
Combinazione 0,3- 0,3 - 1														
Id elemento	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 2	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 4	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 23	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 24	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 25	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 31	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 43	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 45	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] CQC	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] statica	$\sigma_{ed}$ Combinazione statica + dinamica [N/mm <sup>2</sup> ]	Incremento [%]	$\sigma_{rd}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ferrocemento	Esito verifica
7578	12401,63	2255,62	32405,99	64816,20	43081,03	2988,54	3173,50	43078,80	152128,22	1581289,97	1,73	8,78	12,82	Verificato
7579	12587,78	2158,65	32819,57	62060,63	38267,94	2978,11	2635,06	42238,64	144884,15	1873523,93	2,02	7,18	12,82	Verificato
7582	11437,02	1805,91	36470,06	78685,80	28008,66	4023,95	3740,16	40137,76	154158,17	1297520,91	1,45	10,62	12,82	Verificato
7583	11734,34	1709,12	35761,42	74693,24	22960,86	3790,78	3235,47	39990,49	144623,46	1378856,18	1,52	9,49	12,82	Verificato
8057	40332,64	9343,79	8225,85	407363,06	192113,97	10284,14	6576,55	152584,41	643239,22	1806112,82	2,45	26,26	12,82	Verificato
8058	38453,92	8474,93	4158,54	416023,15	221248,00	9267,55	7436,45	154453,15	676006,93	1888656,27	2,56	26,36	12,82	Verificato
8059	35860,63	7449,76	3612,64	412119,02	247558,76	8087,85	8194,53	150555,48	695538,76	1826696,59	2,52	27,58	12,82	Verificato
8063	38561,87	8510,19	5499,10	417068,28	224971,09	9303,55	7347,87	156076,64	682387,90	1880849,14	2,56	26,62	12,82	Verificato
8235	36329,89	7548,25	4231,59	413792,81	246926,39	8121,35	8387,89	151060,12	697415,52	1853300,53	2,55	27,34	12,82	Verificato
8236	38719,74	8524,82	2410,98	414118,52	221666,79	9301,96	7610,70	152887,29	672526,53	1760307,49	2,43	27,64	12,82	Verificato
8239	34101,25	6635,53	7492,90	410717,83	269716,79	6971,62	9104,41	146172,69	717927,51	1856903,52	2,57	27,88	12,82	Verificato
8240	36339,90	7557,43	3412,52	413505,45	245634,86	8113,94	8386,03	150588,54	694957,76	1853002,54	2,55	27,28	12,82	Verificato
8243	30684,76	5453,57	11151,61	397401,97	289291,35	5640,50	9728,02	135907,88	724231,84	1851785,52	2,58	28,11	12,82	Verificato
8244	33701,45	6538,70	7327,15	406160,74	269285,65	6898,64	9067,90	144170,66	712289,79	1900160,91	2,61	27,27	12,82	Verificato
8683	12316,95	1650,17	31901,18	57400,89	24384,61	3322,16	2524,02	40855,51	126065,67	1437717,33	1,56	8,06	12,82	Verificato
8684	13143,42	2178,36	32683,97	49234,52	8231,37	2853,16	1857,32	43251,44	105436,19	2314055,18	2,42	4,36	12,82	Verificato
8687	11848,53	1793,93	32289,68	63636,06	25959,31	3578,53	3006,30	41464,77	134171,99	1425507,33	1,56	8,60	12,82	Verificato
8688	12701,93	2234,62	31637,17	52959,78	9321,94	2842,86	2430,24	43948,42	109319,58	1918149,01	2,03	5,39	12,82	Verificato
8691	11545,54	1901,16	32708,22	65961,20	22290,88	3797,26	3495,59	41694,39	133622,86	1309114,49	1,44	9,26	12,82	Verificato
8754	2424,96	6547,53	33265,92	23311,46	20219,02	11936,26	10640,15	13511,49	86744,78	1500934,88	1,59	5,46	12,82	Verificato
8755	2264,32	6077,41	27776,53	23227,62	18148,23	12724,49	11806,61	16783,97	81563,91	1238483,27	1,32	6,18	12,82	Verificato
8758	1897,48	7502,59	18144,39	22243,05	25503,61	11258,39	12256,93	16930,26	78438,40	1943807,64	2,02	3,88	12,82	Verificato
8759	1679,80	7078,67	21851,70	22323,63	21459,85	12068,67	13474,52	18531,41	79690,00	1394113,27	1,47	5,41	12,82	Verificato
10059	2655,33	7278,24	57993,49	22041,28	20462,84	11623,60	11121,56	12972,96	109301,13	1620601,51	1,73	6,32	12,82	Verificato
10060	2156,96	8252,95	26251,08	22368,92	24969,16	11020,98	12318,09	17875,52	85908,32	2285664,32	2,37	3,62	12,82	Verificato
10063	2402,15	6705,23	56462,86	23299,40	17795,32	12088,24	11765,73	13928,43	107009,85	1518670,66	1,63	6,58	12,82	Verificato
10064	1858,58	7670,37	23445,39	22044,72	22952,24	11389,22	13331,03	17237,81	81402,42	1962337,99	2,04	3,98	12,82	Verificato
10359	6474,96	8288,55	22034,07	16705,06	7300,13	10260,02	18363,94	11073,67	62029,24	691415,53	0,75	8,23	12,82	Verificato
10360	7365,41	8104,15	14087,88	16458,74	6360,72	13692,28	10888,03	36653,70	68644,70	659006,02	0,73	9,43	12,82	Verificato
10603	9868,61	2639,71	46521,47	100274,81	40381,94	4411,16	4501,38	38033,92	196223,80	1136742,02	1,33	14,72	12,82	Verificato
10627	11530,19	1873,37	38341,77	78881,40	21910,38	3988,12	3518,62	40639,49	150428,43	1297693,56	1,45	10,39	12,82	Verificato
10628	11007,41	2248,66	41490,48	89693,69	30834,99	4257,54	4021,70	39660,84	172236,36	1212550,29	1,38	12,44	12,82	Verificato
10631	12497,28	2329,12	33877,46	64862,24	37525,90	2951,94	2969,04	43895,10	148547,35	1582694,32	1,73	8,58	12,82	Verificato
10632	12342,63	2648,17	36530,36	76627,36	45031,53	3066,06	3517,18	44868,27	169923,46	1290839,43	1,46	11,63	12,82	Verificato
11395	2484,38	6689,95	60179,70	23843,18	17894,64	12005,75	10328,52	14565,69	110928,22	1694471,99	1,81	6,14	12,82	Verificato
11396	2721,80	7237,62	60867,94	22582,06	20531,36	11501,36	9639,70	13414,78	112326,88	1803648,76	1,92	5,86	12,82	Verificato
11399	1970,13	7604,40	26766,79	22634,18	23099,26	11237,52	11858,66	18251,48	84823,97	2182515,97	2,27	3,74	12,82	Verificato
11400	2321,56	8169,30	29613,44	23466,78	26037,13	10861,77	10731,27	18711,99	90637,97	2684122,29	2,77	3,27	12,82	Verificato
12595	5546,64	8252,96	34660,43	16905,67	4359,66	6969,15	22941,87	40087,73	89711,37	736232,69	0,83	10,86	12,82	Verificato
12596	6496,28	8271,00	18788,31	16718,69	6599,76	10387,38	16878,20	10280,29	57657,91	709380,77	0,77	7,52	12,82	Verificato
12599	6408,30	8302,75	18501,69	16850,33	6742,83	10235,06	16826,88	16468,50	60996,03	653957,01	0,71	8,53	12,82	Verificato
12600	7387,96	8089,80	3638,56	16437,18	5721,36	13775,30	10521,42	40039,67	64688,91	672249,11	0,74	8,78	12,82	Verificato
13785	39695,01	9178,94	9228,54	409577,35	201224,36	10262,21	6756,62	151380,75	654735,09	1865180,72	2,52	25,98	12,82	Verificato
13786	37790,03	8282,19	5741,47	420255,79	236724,90	9263,46	7615,65	152861,71	696130,42	1951669,22	2,65	26,29	12,82	Verificato
13787	35206,52	7237,60	5559,37	418761,41	269372,09	8102,64	8373,18	148778,50	724573,49	1882520,50	2,61	27,79	12,82	Verificato
13789	41020,11	9976,21	15188,15	396552,99	163408,90	11141,36	5859,91	145337,13	609869,33	1910974,43	2,52	24,19	12,82	Verificato
13790	40155,34	9300,32	10019,81	413655,68	203746,01	10354,30	6705,56	154155,01	662774,58	1889524,86	2,55	25,97	12,82	Verificato
13791	37815,84	8296,10	6687,74	421746,38	241800,76	9317,79	7523,49	154287,92	703813,07	1948425,84	2,65	26,54	12,82	Verificato
13792	35271,57	7273,35	6634,75	417933,07	270774,39	8053,30	8239,00	148742,41	726126,92	1885767,70	2,61	27,80	12,82	Verificato
13793	41587,53	10515,77	19936,34	370297,10	119083,22	11726,28	4912,64	133322,54	542883,72	1798019,26	2,34	23,19	12,82	Verificato
13794	41668,69	10080,45	14890,65	394522,58	160742,74	11123,27	5809,12	146194,80	605392,49	1913273,43	2,52	24,04	12,82	Verificato
13795	40123,25	9307,08	10255,64	412745,46	203971,41	10300,04	6633,45	153695,73	662164,50	1905305,39	2,57	25,79	12,82	Verificato
14067	2564,21	6819,39	44884,70	24183,08	20571,98	11836,25	10604,18	13670,27	98960,63	1670278,37	1,77	5,59	12,82	Verificato
14068	2794,34	7375,46	45536,73	23103,33	23223,28	11333,06	9921,20	13181,37	100654,54	1777748,21	1,88	5,36	12,82	Verificato
14071	1979,92	7732,98	14591,17	23141,15	25893,41	11068,37	12064,43	17886,85	76720,65	2156834,49	2,23	3,43	12,82	Verificato
14072	2316,85	8304,65	15647,83	24168,78	29013,39	10682,63	10934,24	18926,41	81361,84	2651029,02	2,73	2,98	12,82	Verificato
14545	12688,98	2141,00	32194,43	52020,88	10988,87	2839,42	2660,78	42191,83	109739,64	1904961,64	2,01	5,45	12,82	Verificato
14546	11874,17	1668,42	32622,83	63122,19	27543,56	3630,11	3240,98	39742,62	134930,35	1411120,08	1,55	8,73	12,82	Verificato
14716	13320,50	2434,40	29369,30	51223,31	6893,68	3050,48	2603,07	44117,64	104004,77	1838951,46	1,94	5,35	12,82	Verificato
14833	40681,11	11183,99	37050,95	340156,06	63717,38	12675,03	3704,80	111113,30	470279,24	1767534,77	2,24	21,02	12,82	Verificato
14835	40497,95	11141,26	30301,03	337214,77	60633,95	12665,46	3591,59	110308,75	457701,90	1745990,39	2,20	20,77	12,82	Verificato
15029	6781,67	8313,88	17701,93	17224,48	10566,81	11884,53	14496,13	25181,75	68319,37	763023,77	0,83	8,22	12,82	Verificato
15031	7757,70	8088,26	19181,53	17058,90	16312,72	15247,30	7738,51	52706,16	89237,59	637365,24	0,73	12,28	12,82	Verificato
15032	7624,17	8145,08	20564,08	17740,94	19022,18	15045,93	7824,00	54595,09	93841,53	729233,10	0,82	11,40	12,82	Verificato
15039	7888,85	8066,98	14462,53	17177,90	13532,97	15515,43	7699,60	52823,78	84616,83	840826,20	0,93	9,14	12,82	Verificato
15244	41251,81	11259,94												

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Verifica elementi in ferrocemento della volta di copertura - Modello con muratura di tamponamento															
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3															
Id elemento	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 2	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 4	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 23	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 24	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 25	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 31	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 43	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 45	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] CQC	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] statica	Combinazione statica + dinamica [N/mm <sup>2</sup> ]	Incremento [%]	$\sigma_{rd}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ferrocemento	Esito verifica	
7579	30116,59	16337,72	26503,44	2495,89	4347,17	64468,80	42017,27	9032,75	164123,68	2120410,04	2,28	7,18	12,82	Verificato	
7580	29633,28	16033,72	27312,44	2459,25	4828,26	59083,21	38903,09	9893,93	157530,06	2554113,28	2,71	5,81	12,82	Verificato	
7583	30166,40	15403,01	23375,61	2181,51	3948,67	77493,64	39055,34	7594,07	168787,38	1581287,31	1,75	9,64	12,82	Verificato	
7584	29953,76	15178,75	25454,17	2236,32	4327,79	70628,12	37189,04	8725,88	163445,57	1596330,12	1,76	9,29	12,82	Verificato	
8062	96854,32	11129,30	27517,16	4024,85	1075,58	396981,68	154019,84	4187,58	614342,89	2110770,20	2,73	22,54	12,82	Verificato	
8063	106867,11	14588,26	22291,77	3755,31	1472,54	406917,79	171538,76	2590,85	640549,45	2159924,61	2,80	22,87	12,82	Verificato	
8066	85243,17	7411,25	33210,29	4380,90	672,92	376354,29	132625,91	6220,33	574209,87	2120576,78	2,69	21,31	12,82	Verificato	
8067	97258,63	11237,09	27664,22	4010,46	1095,63	396401,01	154339,92	4298,94	614537,39	2128491,87	2,74	22,40	12,82	Verificato	
8206	97088,01	11200,47	27929,70	3822,40	1167,66	396417,64	154160,32	4356,56	614475,86	2133574,85	2,75	22,36	12,82	Verificato	
8207	106700,45	14558,03	22804,74	3485,82	1612,76	407194,65	171412,64	2641,43	641016,86	2165603,16	2,81	22,84	12,82	Verificato	
8210	85143,00	7383,20	33347,52	4262,71	753,88	376128,05	132475,84	6261,35	573916,13	2127794,24	2,70	21,24	12,82	Verificato	
8211	96748,53	11105,55	27890,75	3877,56	1178,37	397025,76	153916,55	4223,67	614575,18	2115897,52	2,73	22,51	12,82	Verificato	
8238	126646,59	23157,85	5503,03	2859,03	2570,01	397224,46	198962,95	4373,09	655831,26	2159383,69	2,82	23,30	12,82	Verificato	
8239	121482,26	20658,24	9812,05	3022,20	2226,64	406460,38	190718,24	2646,61	656066,58	2139758,68	2,80	23,47	12,82	Verificato	
8242	129437,95	25007,85	1685,96	2903,82	2776,91	378252,33	202500,32	5955,58	640878,32	2126108,38	2,77	23,16	12,82	Verificato	
8243	126694,03	23162,67	5035,67	3022,79	2570,91	396997,29	198975,73	4385,37	655306,19	2159310,84	2,81	23,28	12,82	Verificato	
8683	30027,40	15259,46	25597,57	8921,18	1357,92	65423,55	36116,22	8887,44	161393,19	1650193,44	1,81	8,91	12,82	Verificato	
8684	29642,64	16119,27	28442,24	10764,52	1281,55	54417,52	38227,20	10002,90	158218,06	2614836,45	2,77	5,71	12,82	Verificato	
8687	30221,39	15483,10	23349,72	8539,27	1555,92	71685,14	37894,32	7807,91	166173,33	1629833,75	1,80	9,25	12,82	Verificato	
8688	30099,89	16422,10	27632,44	9970,81	1377,15	59372,94	41221,79	9196,30	164070,97	2168819,97	2,33	7,03	12,82	Verificato	
8753	2588,19	6611,68	99919,39	28064,18	2161,19	23652,51	9560,71	10038,33	172514,77	1804435,89	1,98	8,73	12,82	Verificato	
8754	2393,48	6777,02	94342,90	22986,57	1711,60	25016,45	8378,43	15873,17	165619,37	1696568,27	1,86	8,89	12,82	Verificato	
8757	2531,15	7930,77	71281,40	42605,74	1735,55	24430,59	13229,88	22076,57	170854,84	2546789,26	2,72	6,29	12,82	Verificato	
8758	2573,75	8113,33	63398,81	37567,02	1226,54	23857,24	11385,80	27983,25	159667,73	2194904,41	2,35	6,78	12,82	Verificato	
10059	2673,73	6555,12	99426,05	30578,15	2995,42	23572,18	9396,52	9931,67	175071,28	1824052,01	2,00	8,76	12,82	Verificato	
10060	2607,65	7873,65	71191,76	44879,07	2443,60	24167,75	13054,31	22181,48	173369,00	2567425,88	2,74	6,33	12,82	Verificato	
10063	2477,71	6714,77	93299,99	25218,68	2588,87	24974,37	8217,38	15729,54	167394,51	1714260,29	1,88	8,90	12,82	Verificato	
10064	2638,84	8047,85	62843,99	39810,42	1965,69	23659,19	11220,27	28134,92	161809,93	2213064,05	2,37	6,81	12,82	Verificato	
10352	1107,32	1776,30	37685,80	124456,20	4635,04	18643,12	8112,99	66289,92	239515,80	845771,97	1,09	22,07	12,82	Verificato	
10354	1631,30	511,25	18059,88	111443,68	3434,78	18482,22	9250,78	38238,14	185929,22	858941,20	1,04	17,79	12,82	Verificato	
10355	1179,16	1906,91	37965,63	127828,19	4726,39	18348,12	8161,07	68053,34	24341,77	823353,34	1,07	22,88	12,82	Verificato	
10358	1152,04	1806,33	36100,84	124694,09	4536,24	18142,98	8034,36	66535,91	237082,37	838725,15	1,08	22,04	12,82	Verificato	
10359	772,40	3071,25	54580,11	137965,74	5687,90	18023,33	7071,70	93116,38	289647,59	773656,59	1,06	27,24	12,82	Verificato	
10625	29198,59	15273,33	24990,03	7199,36	1306,24	70864,38	36289,39	9208,60	164284,89	1617708,78	1,78	9,22	12,82	Verificato	
10626	29327,34	15478,44	23107,93	6825,26	1497,57	77699,20	38052,77	8079,64	169886,97	1602032,51	1,77	9,59	12,82	Verificato	
10629	28819,58	16130,51	26588,35	8737,69	1191,45	59088,41	38290,62	10375,72	158780,08	2578251,52	2,74	5,80	12,82	Verificato	
10630	29210,84	16409,51	25892,65	8069,40	1278,21	64549,74	41273,69	9543,50	165267,59	2140602,61	2,31	7,17	12,82	Verificato	
11395	2400,79	6596,15	94296,02	5767,80	15044,93	25955,23	8772,78	18936,44	164958,67	1900865,52	2,07	7,99	12,82	Verificato	
11396	2589,17	6452,42	97453,95	5541,74	18903,96	24583,23	10080,92	12162,86	166979,09	2019763,75	2,19	7,64	12,82	Verificato	
11399	2533,83	7869,05	62366,81	3245,99	24020,54	24730,72	11893,68	31091,26	150801,10	2445332,10	2,60	5,81	12,82	Verificato	
11400	2586,36	7745,94	67826,54	3222,25	27429,61	25789,76	14275,07	24312,43	157726,22	2997364,61	3,16	5,00	12,82	Verificato	
11884	1703,18	459,10	4250,15	7129,69	66645,21	18420,76	9462,10	38503,47	132880,54	883962,79	1,02	13,07	12,82	Verificato	
12588	1704,48	461,51	3114,82	6996,04	66660,10	18407,71	9460,89	38522,26	131679,91	885320,07	1,02	12,95	12,82	Verificato	
12592	1198,75	1802,55	15150,60	6098,25	76574,87	18203,14	8158,63	69027,11	175423,79	860275,54	1,04	16,94	12,82	Verificato	
13646	123727,12	22469,56	5096,10	1863,19	2141,05	403319,84	203888,22	4517,95	662662,87	2198392,61	2,86	23,16	12,82	Verificato	
13647	126159,69	24297,38	1068,14	1701,03	2373,86	385667,69	208332,76	6119,23	649213,05	2168294,75	2,82	23,04	12,82	Verificato	
13650	118845,34	20005,81	9861,94	2264,82	1790,13	411422,37	194413,30	2750,47	661511,90	2185444,21	2,85	23,24	12,82	Verificato	
13651	123625,71	22471,36	5185,57	1985,16	2082,10	403443,33	203659,06	4510,99	662668,31	2199995,23	2,86	23,15	12,82	Verificato	
13662	96266,28	10777,08	28562,37	3836,98	837,29	398137,37	155429,02	4462,97	617060,60	2164939,44	2,78	22,18	12,82	Verificato	
13663	105198,47	14040,74	23093,70	3288,32	1209,65	409868,23	173684,75	2765,40	644452,56	2196449,85	2,84	22,68	12,82	Verificato	
13664	111810,02	17026,08	17332,00	2766,21	1553,52	409171,20	184815,19	1830,57	652317,97	2154395,00	2,81	23,24	12,82	Verificato	
13667	95694,49	10653,36	28317,88	3830,68	850,25	398375,76	154838,78	4327,61	616101,70	2147713,16	2,76	22,29	12,82	Verificato	
13774	124120,02	22784,20	11579,37	2618,29	1853,42	400427,18	202194,78	5301,58	665943,55	2165643,48	2,83	23,52	12,82	Verificato	
13775	119508,10	20393,93	14920,28	2810,65	1569,14	407276,56	192798,30	4321,67	662857,23	2168382,94	2,83	23,41	12,82	Verificato	
13778	126632,17	24707,44	11204,92	2658,76	2022,79	381763,87	205952,06	6628,95	654431,75	2141809,52	2,80	23,40	12,82	Verificato	
13790	95022,94	10567,55	28041,92	3986,68	693,98	397176,64	153712,05	4136,56	613148,85	2182047,46	2,80	21,94	12,82	Verificato	
13791	104363,78	13953,17	22689,64	3466,85	1049,65	408711,55	172238,37	2463,52	640988,63	2233885,03	2,87	22,30	12,82	Verificato	
13794	83938,89	6927,67	33657,22	4483,67	445,95	374564,62	130966,56	6235,68	570410,72	2204348,85	2,77	20,56	12,82	Verificato	
13795	95147,24	10652,49	27973,97	3915,20	723,27	396079,11	153549,15	4247,17	611999,81	2201847,75	2,81	21,75	12,82	Verificato	
14067	2460,23	6388,95	101393,17	8399,24	16146,59	26004,64	8872,54	17666,40	174903,66	1881633,63	2,06	8,50	12,82	Verificato	
14068	2710,41	6241,03	104424,14	8117,43	20120,54	24743,29	10188,23	11365,51	177359,03	1999634,81	2,18	8,15	12,82	Verificato	
14071	2666,01	7693,84	67755,44	4707,12	25095,04	24885,48	12018,46	29893,41	157900,69	2425455,90	2,58	6,11	12,82	Verificato	
14072	2750,15	7566,47	73154,87	4792,68	28540,53	26093,40	14414,50	23343,22	165322,25	2971005,88	3,14	5,27	12,82	Verificato	
14545	29456,77	16519,93	28943,86	4156,65	4118,23	58958,23	41116,15	8918,55	161419,66	2156092,95	2,32	6,97	12,82	Verificato	
14546	29639,22	15629,79	24461,58	3520,84	3776,81	71801,82	38015,61	7605,31	164419,21	1616412,52	1,78	9,23	12,82	Verificato	
14549	29048,25	16217,07	29765,35												

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Verifica elementi in ferrocemento della volta di copertura - Modello con muratura di tamponamento														
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3														
Id elemento	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 2	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 4	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 23	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 24	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 25	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 31	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 43	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 45	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] CQC	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] statica	$\sigma_{ed}$ Combinazione statica + dinamica [N/mm <sup>2</sup> ]	Incremento [%]	$\sigma_{rd}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ferrocemento	Esito verifica
7579	100236,03	15468,14	8850,50	2757,78	3253,50	223281,20	139679,10	2725,56	418856,81	2120410,04	2,54	16,50	12,82	Verificato
7580	98625,16	15210,43	8716,77	2507,81	3235,71	205958,12	129293,80	3004,00	391770,52	2554113,28	2,95	13,30	12,82	Verificato
7583	100391,73	14583,60	7624,23	2754,47	3508,92	265222,52	129851,21	2168,90	448603,06	1581287,31	2,03	22,10	12,82	Verificato
7584	99685,08	14374,69	7858,71	2521,69	3505,16	243053,53	123649,23	2530,51	421453,99	1596330,12	2,02	20,89	12,82	Verificato
8062	322777,75	10577,39	12922,51	3640,05	1465,15	1324993,06	513392,78	1679,37	1937405,17	2110770,20	4,05	47,86	12,82	Verificato
8063	356145,18	13856,28	11308,01	3864,23	1853,20	1358174,78	571789,99	1125,93	2038844,02	2159924,61	4,20	48,56	12,82	Verificato
8066	284083,92	7049,57	14551,44	3426,05	1130,02	1256114,73	442081,41	2301,81	1787043,60	2120576,78	3,91	45,73	12,82	Verificato
8067	324125,16	10679,63	12848,27	3551,87	1495,73	1323044,05	514461,12	1693,00	1937023,96	2128491,87	4,07	47,65	12,82	Verificato
8206	323556,57	10644,96	12831,47	3622,57	1383,68	1323101,09	513862,49	1707,83	1936208,81	2133574,85	4,07	47,58	12,82	Verificato
8207	355589,82	13827,64	11332,79	3690,59	1913,76	1359100,36	571369,55	1139,69	2039015,33	2165603,16	4,20	48,49	12,82	Verificato
8210	283750,12	7023,02	14554,50	3594,43	942,46	1255361,37	441581,14	2312,95	1785676,16	2127794,24	3,91	45,63	12,82	Verificato
8211	322425,26	10554,85	12972,19	3638,36	1441,23	1325141,80	513048,37	1688,81	1937093,42	2115897,52	4,05	47,79	12,82	Verificato
8238	422059,73	21979,45	5925,60	4133,62	3014,45	1325934,69	663199,97	910,66	2122650,33	2159383,69	4,28	49,57	12,82	Verificato
8239	404848,71	19612,18	7473,25	4062,28	2628,03	1356730,46	635718,57	372,99	2118614,00	2139758,68	4,26	49,75	12,82	Verificato
8242	431363,83	23729,33	4411,80	4350,08	3236,75	1262651,12	674989,85	1408,31	2076866,53	2126108,38	4,20	49,41	12,82	Verificato
8243	422217,81	21984,00	5925,36	4339,79	2931,72	1325175,63	663242,58	912,17	2122151,22	2159310,84	4,28	49,57	12,82	Verificato
8683	99930,87	14451,85	8657,97	6473,90	1156,78	225773,93	120074,11	2577,98	404193,04	1650193,44	2,05	19,67	12,82	Verificato
8684	98656,87	15294,27	7972,45	6823,73	1093,85	190432,02	127043,86	3036,96	378137,29	2614836,45	2,99	12,63	12,82	Verificato
8687	95875,29	14660,23	8425,82	6640,48	1302,66	245977,77	125980,17	2230,87	429171,38	1629833,75	2,06	20,84	12,82	Verificato
8688	100180,85	15548,68	9910,87	6770,46	1221,14	206352,56	137028,93	2771,96	403233,96	2168819,97	2,57	15,68	12,82	Verificato
8753	8441,78	6556,94	29831,03	9609,89	450,99	68870,96	30906,11	3016,26	144491,32	1804435,89	1,95	7,41	12,82	Verificato
8754	7624,31	6720,15	28113,40	8049,45	357,60	72631,90	26831,53	4760,20	142170,00	1696568,27	1,84	7,73	12,82	Verificato
8757	8398,65	7854,91	21397,27	14471,63	349,96	72760,03	43003,02	6619,10	158964,54	2546789,26	2,71	5,88	12,82	Verificato
8758	8481,13	8034,73	18981,28	12859,71	248,81	70583,12	36850,19	8394,33	148516,91	2194904,41	2,34	6,34	12,82	Verificato
10059	8713,08	6499,42	29740,65	10429,96	639,05	68235,58	30375,41	2984,66	144345,56	1824052,01	1,97	7,33	12,82	Verificato
10060	8623,11	7796,55	21435,07	15230,33	508,11	71725,71	42431,73	6650,99	158434,14	2567425,88	2,73	5,81	12,82	Verificato
10063	7899,29	6657,02	27862,41	8762,64	559,77	72119,37	26308,18	4717,51	141894,02	1714260,29	1,86	7,64	12,82	Verificato
10064	8685,59	7968,20	18877,35	13608,37	416,38	69783,96	36312,34	8440,27	148109,93	2213064,05	2,36	6,27	12,82	Verificato
10352	3344,32	1759,75	11257,09	42641,40	1035,45	62927,19	28399,29	19878,96	158701,53	845771,97	1,00	15,80	12,82	Verificato
10354	5056,60	506,57	5405,54	38125,12	776,98	62153,14	32227,44	11469,69	144951,56	858941,20	1,00	14,44	12,82	Verificato
10355	3566,79	1890,09	11340,50	43772,11	1057,91	62409,01	28603,56	20406,75	160117,51	823353,34	0,98	16,28	12,82	Verificato
10358	3475,15	1790,00	10787,96	42719,06	1015,12	61827,16	28185,48	19682,07	156932,18	838725,15	1,00	15,76	12,82	Verificato
10359	2251,82	3044,91	16292,00	47276,69	1266,42	62030,22	24983,85	27918,68	170506,32	773656,59	0,94	18,06	12,82	Verificato
10625	97171,18	14466,79	7608,49	5663,34	1246,13	243854,51	120652,60	2673,46	418971,67	1617708,78	2,04	20,57	12,82	Verificato
10626	97598,66	14657,46	7416,36	5824,15	1399,96	265932,08	126509,39	2312,34	445707,62	1602032,51	2,05	21,77	12,82	Verificato
10629	95916,47	15306,24	8391,00	5985,24	1137,68	206022,16	127256,70	3149,89	389691,89	2578251,52	2,97	13,13	12,82	Verificato
10630	97221,02	15538,64	8574,17	5966,47	1274,45	223587,50	137202,63	2878,03	416371,02	2140602,61	2,56	16,28	12,82	Verificato
11395	7648,13	6539,50	28177,86	2160,18	3504,30	74542,80	28162,17	5679,37	143165,61	1900865,52	2,04	7,00	12,82	Verificato
11396	8446,69	6397,56	29177,44	2125,43	4471,99	70796,70	32650,66	3652,20	144272,19	2019763,75	2,16	6,67	12,82	Verificato
11399	8357,03	7789,20	18772,21	1271,20	5505,79	72636,50	38517,90	9328,06	146174,00	2445532,10	2,59	5,64	12,82	Verificato
11400	8592,45	7668,61	20484,79	1307,91	6326,71	76441,46	46480,25	7292,25	158350,55	2997364,61	3,16	5,02	12,82	Verificato
11884	5282,99	454,20	1246,42	2436,23	14855,86	62018,59	32950,19	11549,42	120489,29	883962,79	1,00	12,00	12,82	Verificato
12588	5287,12	456,52	936,79	2391,28	14858,21	62000,13	32946,68	11555,08	120133,94	885320,07	1,01	11,95	12,82	Verificato
12592	3628,31	1786,27	1887,35	2082,54	17027,16	61964,72	28604,64	20698,93	128289,04	860275,54	0,99	12,98	12,82	Verificato
13646	412331,29	21325,75	6174,29	2648,55	2445,07	1346276,31	679617,56	946,88	2150510,26	2198392,61	4,35	49,45	12,82	Verificato
13647	420439,65	23054,89	4623,29	2698,23	2698,57	1287399,36	694431,58	1450,71	2110885,87	2168294,75	4,28	49,33	12,82	Verificato
13650	396061,89	18992,44	7667,66	2724,80	2055,14	1373291,77	648035,56	397,77	2139703,56	2185444,21	4,33	49,47	12,82	Verificato
13651	411993,42	21327,58	6063,88	2746,61	2369,74	1346691,05	678853,70	942,72	2149969,92	2199995,23	4,35	49,42	12,82	Verificato
13662	320818,54	10241,84	13138,98	3288,80	921,93	1328836,67	518091,57	1742,11	1943711,16	2164939,44	4,11	47,31	12,82	Verificato
13663	350584,89	13335,75	11608,41	3061,67	1368,93	1368018,83	578943,52	1170,76	2051135,32	2196449,85	4,25	48,29	12,82	Verificato
13664	372617,98	16166,22	9913,50	2869,66	1773,93	1365729,70	616043,93	641,14	2092720,62	2154395,00	4,25	49,27	12,82	Verificato
13667	318913,03	10124,60	13231,75	3262,64	1005,74	1329643,32	516122,78	1723,23	1941909,11	2147713,16	4,09	47,48	12,82	Verificato
13774	413640,44	21625,39	6634,89	3171,95	2074,34	1336622,23	673973,47	1287,55	2137627,14	2165643,48	4,30	49,67	12,82	Verificato
13775	398270,55	19362,23	8061,64	2955,92	1787,66	1359457,82	642653,10	1101,31	2123439,18	2168382,94	4,29	49,48	12,82	Verificato
13778	422014,05	23444,86	5499,63	3498,85	2218,48	1274377,02	686496,47	1679,81	2093344,37	2141809,52	4,24	49,43	12,82	Verificato
13790	316675,55	10043,18	13178,31	3221,94	1058,90	1325649,77	512366,31	1677,17	1933445,11	2182047,46	4,12	46,98	12,82	Verificato
13791	347803,76	13252,98	11490,44	2982,28	1357,40	1364166,66	574121,72	1104,86	2041402,15	2233885,03	4,28	47,75	12,82	Verificato
13794	279738,34	6589,73	14809,68	3418,13	933,85	1250148,61	436549,85	2317,57	1774008,77	2204348,85	3,98	44,59	12,82	Verificato
13795	317089,89	10124,26	13048,78	3076,30	1110,11	1321975,51	511825,01	1690,94	1929380,00	2201847,75	4,13	46,70	12,82	Verificato
14067	7844,25	6333,61	30229,61	2994,66	3782,74	75018,56	28488,79	5299,20	146755,78	1881633,63	2,03	7,24	12,82	Verificato
14068	8854,53	6187,56	31194,93	2938,94	4762,41	71607,23	33005,23	3416,35	148355,92	1999634,81	2,15	6,91	12,82	Verificato
14071	8804,72	7614,81	20310,52	1720,60	5758,07	73368,68	38931,49	8969,42	149286,74	2425455,90	2,57	5,80	12,82	Verificato
14072	9146,45	7490,10	22000,44	1790,05	6582,15	77677,11	46941,09	7002,11	162103,19	2971005,88	3,13	5,17	12,82	Verificato
14545	98038,94	15642,19	10289,93	3568,22	3170,51	205027,43	136674,78	2681,43	399652,13	2156092,95	2,56	15,64	12,82	Verificato
14546	98636,22	14800,03	8781,96	3552,95	3375,49	246403,78	126383,55	2158,27	428314,52	1616412,52	2,04	20,95	12,82	

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Verifica elementi in ferrocemento della volta di copertura - Modello con muratura di tamponamento														
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1														
Id elemento	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 2	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 4	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 23	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 24	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 25	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 31	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 43	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] modo 45	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] CQC	$\sigma_{ed}$ [N/m <sup>2</sup> ] statica	$\sigma_{ed}$ Combinazione statica + dinamica [N/mm <sup>2</sup> ]	Incremento [%]	$\sigma_{rd}$ [N/mm <sup>2</sup> ] ferrocemento	Esito verifica
7579	30107,08	55376,30	8109,69	5666,70	8980,89	66005,29	41922,28	2709,61	179505,15	2120410,04	2,30	7,80	12,82	Verificato
7580	29623,16	54314,89	8393,18	5205,34	9015,73	60773,37	38806,81	2969,99	171113,09	2554113,28	2,73	6,28	12,82	Verificato
7583	30153,92	52215,48	7376,33	5735,16	9571,36	78627,08	38971,15	2273,70	185943,75	1581287,31	1,77	10,52	12,82	Verificato
7584	29941,63	51545,43	7862,48	5321,73	9521,61	71944,23	37109,30	2612,99	177779,32	1596330,12	1,77	10,02	12,82	Verificato
8062	96942,08	37647,51	7146,22	7106,25	4049,45	395765,94	153996,91	1257,88	613117,08	2110770,20	2,72	22,51	12,82	Verificato
8063	106964,24	49357,12	5666,52	7649,13	4972,57	405668,61	171513,46	780,40	650301,25	2159924,61	2,81	23,14	12,82	Verificato
8066	85320,13	25063,62	8807,34	6525,65	3296,81	375197,41	132606,34	1865,06	561355,64	2120576,78	2,68	20,93	12,82	Verificato
8067	97346,70	38012,11	7210,61	6915,70	4124,33	395184,74	154317,29	1290,28	613231,01	2128491,87	2,74	22,37	12,82	Verificato
8206	91775,91	37887,99	7323,31	7054,98	3833,41	395201,83	154137,72	1307,46	612900,53	2133574,85	2,75	22,32	12,82	Verificato
8207	106797,42	49254,70	5862,46	7270,05	5139,38	405944,97	171387,35	795,50	650303,24	2165603,16	2,82	23,09	12,82	Verificato
8210	85219,86	24968,49	8869,71	6887,48	2826,61	374972,28	132456,28	1877,35	560859,19	2127794,24	2,69	20,86	12,82	Verificato
8211	96836,19	37567,09	7284,44	7078,11	3994,64	395810,12	153893,61	1268,68	613027,31	2115897,52	2,73	22,46	12,82	Verificato
8238	126764,32	78368,33	1004,81	8352,48	7894,04	396033,62	198932,36	1299,50	693689,96	2159383,69	2,85	24,31	12,82	Verificato
8239	121595,52	69904,18	2081,40	8178,87	6906,60	405227,01	190688,94	785,62	686515,35	2139758,68	2,83	24,29	12,82	Verificato
8242	129556,91	84634,89	770,80	8798,63	8447,39	377136,11	202469,22	1774,89	685436,00	2126108,38	2,81	24,38	12,82	Verificato
8243	126811,80	78384,66	735,54	8766,76	7669,08	395807,01	198945,14	1302,94	693446,30	2159310,84	2,85	24,31	12,82	Verificato
8683	30015,46	51726,81	7793,39	12679,50	2783,71	66777,11	36036,86	2661,44	172973,58	1650193,44	1,82	9,49	12,82	Verificato
8684	29632,68	54603,73	8589,73	12853,08	2644,87	56134,92	38311,73	3002,68	167970,70	2614836,45	2,78	6,04	12,82	Verificato
8687	30209,07	52485,72	7157,26	12879,61	3101,20	72869,28	37810,18	2337,82	180395,73	1629833,75	1,81	9,97	12,82	Verificato
8688	30090,50	55661,27	8313,38	12727,67	2949,12	60944,62	41127,26	2758,56	175627,68	2168819,97	2,34	7,49	12,82	Verificato
8753	2534,52	21839,98	28925,39	13498,50	245,47	21424,55	9330,82	3006,85	88154,50	1804435,89	1,89	4,66	12,82	Verificato
8754	2292,11	22379,11	27329,19	11475,20	206,63	22608,55	8117,16	4748,46	86063,26	1696568,27	1,78	4,83	12,82	Verificato
8757	2519,87	26213,92	20606,66	20394,02	258,24	22487,35	12969,06	6603,65	96167,39	2546789,26	2,64	3,64	12,82	Verificato
8758	2545,90	26807,28	18349,43	18032,31	195,93	21851,93	11123,63	8370,00	91069,99	2194904,41	2,29	3,98	12,82	Verificato
10059	2616,11	21655,81	28777,03	14606,04	258,66	21262,74	9170,53	2975,09	88710,13	1824052,01	1,91	4,64	12,82	Verificato
10060	2587,32	26028,47	20574,40	21476,23	275,90	22193,14	12796,78	6635,19	96995,46	2567425,88	2,66	3,63	12,82	Verificato
10063	2374,79	22176,13	27022,83	12466,94	223,56	22488,02	7959,27	4705,62	86371,88	1714260,29	1,80	4,80	12,82	Verificato
10064	2607,40	26593,99	1818,63	19079,33	215,16	21626,30	10961,38	8415,53	91492,45	2213064,05	2,30	3,97	12,82	Verificato
10352	1004,60	5866,27	11011,81	60374,27	256,93	18734,12	8432,67	19821,71	114315,17	845771,97	0,96	11,91	12,82	Verificato
10354	1519,26	1693,49	5295,55	53681,99	212,44	18530,15	9578,76	11437,26	94952,97	858941,20	0,95	9,95	12,82	Verificato
10355	1071,79	6296,70	11095,76	61663,31	258,74	18551,59	8491,10	20348,94	116170,52	823353,34	0,94	12,36	12,82	Verificato
10358	1043,45	5964,88	10554,00	60511,96	250,20	18363,52	8365,57	19626,41	113493,08	838725,15	0,95	11,92	12,82	Verificato
10359	676,37	10136,33	15935,97	66716,71	288,92	18371,18	7404,67	27840,02	132074,13	773656,59	0,91	14,58	12,82	Verificato
10625	29186,52	51770,65	7743,75	11337,63	3154,99	72181,01	36210,29	2757,71	176679,28	1617708,78	1,79	9,85	12,82	Verificato
10626	29314,98	52467,01	7430,17	11568,07	3477,20	78835,99	37968,74	2419,33	184873,29	1602032,51	1,79	10,35	12,82	Verificato
10629	28809,54	54637,71	8203,62	11554,58	2932,36	60786,97	38195,47	3114,58	170505,61	2578251,52	2,75	6,20	12,82	Verificato
10630	29201,47	55615,32	7954,37	11489,74	3236,74	66092,64	41179,30	2862,77	178600,21	2140602,61	2,32	7,70	12,82	Verificato
11395	2299,35	21787,47	27310,75	3341,72	2697,41	23280,10	8515,71	5664,13	81744,96	1900865,52	1,98	4,12	12,82	Verificato
11396	2536,01	21322,12	28194,31	3352,39	2722,05	22095,11	9853,86	3639,64	81136,53	2019763,75	2,10	3,86	12,82	Verificato
11399	2508,64	26008,80	18060,40	1933,78	2800,90	22539,03	11626,01	9299,50	79063,34	2445532,10	2,52	3,13	12,82	Verificato
11400	2577,91	25617,24	19603,06	2036,80	2626,84	23660,99	14013,01	7272,18	81959,47	2997364,61	3,08	2,66	12,82	Verificato
11884	1587,17	1521,72	1256,28	3462,92	3213,51	18487,18	9794,34	11516,18	45187,66	883962,79	0,93	4,86	12,82	Verificato
12588	1588,41	1529,87	929,27	3393,51	3220,21	18480,95	9793,26	11521,78	44822,65	885320,07	0,93	4,82	12,82	Verificato
12592	1089,49	5952,33	4437,55	2939,16	3510,08	18409,79	8490,98	20640,43	56213,72	860275,54	0,92	6,13	12,82	Verificato
13646	123842,23	76039,38	737,80	5377,31	6386,21	402108,96	203857,91	1342,18	696259,95	2198392,61	2,89	24,05	12,82	Verificato
13647	126275,81	82230,58	690,57	5523,33	7019,81	384527,57	208300,43	1823,65	689721,13	2168294,75	2,86	24,13	12,82	Verificato
13650	118956,22	67696,65	2069,51	5454,93	5394,09	410172,92	194383,48	816,51	687674,55	2185444,21	2,87	23,93	12,82	Verificato
13651	123740,76	76045,33	825,27	5571,46	6180,54	402232,50	203628,29	1340,69	691796,74	2199995,23	2,90	24,04	12,82	Verificato
13662	96353,58	36456,49	7480,15	6304,24	2675,52	396916,11	155406,29	1339,54	612745,47	2164939,44	2,78	22,06	12,82	Verificato
13663	105294,22	47504,99	5909,60	5933,15	3729,74	408610,21	173659,23	832,72	650483,60	2196449,85	2,85	22,85	12,82	Verificato
13664	111911,98	57610,98	4262,99	5649,57	4712,94	407916,44	184787,79	548,27	668322,65	2154395,00	2,82	23,68	12,82	Verificato
13667	95781,33	36037,85	7380,91	6254,66	2904,04	397156,15	154815,81	1300,03	611967,09	2147713,16	2,76	22,18	12,82	Verificato
13774	124235,46	77103,22	3234,23	6427,16	5369,45	399225,31	202163,90	1582,28	695474,65	2165643,48	2,86	24,31	12,82	Verificato
13775	119619,63	69008,60	3980,69	5917,95	4651,54	406040,77	192768,94	1291,70	685336,74	2168382,94	2,85	24,02	12,82	Verificato
13778	126748,75	83617,54	3422,10	7122,75	5710,58	380637,28	205920,70	1977,49	688052,36	2141809,52	2,83	24,31	12,82	Verificato
13790	95109,23	35747,14	7295,00	6131,58	3041,04	395962,85	153689,09	1242,80	609180,11	2182047,46	2,79	21,82	12,82	Verificato
13791	104458,82	47208,05	5786,30	5742,38	3702,22	407459,37	172212,94	742,49	647077,67	2233885,03	2,88	22,46	12,82	Verificato
13794	84014,86	23427,34	8927,13	6430,53	2833,18	373416,24	130947,17	1869,82	556100,90	2204348,85	2,76	20,15	12,82	Verificato
13795	95233,61	36033,76	7293,97	5831,89	3169,12	394866,70	153526,62	1274,91	608054,25	2201847,75	2,81	21,64	12,82	Verificato
14067	2358,13	21103,80	29378,39	4527,26	2714,38	23393,20	8614,03	5284,53	84422,69	1881633,63	1,97	4,29	12,82	Verificato
14068	2658,28	20624,56	30227,50	4499,00	2729,84	22311,14	9960,39	3403,53	83961,41	1999634,81	2,08	4,03	12,82	Verificato
14071	2642,84	25431,08	19631,06	2602,33	2818,63	22737,12	11750,20	8941,46	80913,80	2425455,90	2,51	3,23	12,82	Verificato
14072	2744,03	25025,06	21157,75	2750,42	2642,99	24009,37	14151,49	6982,53	84064,55	2971005,88	3,06	2,75	12,82	Verificato
14545	29447,22	55991,50	8704,12	6974,96	8662,65	60543,75	41021,16	2675,02	175279,34	2156092,95	2,33	7,52	12,82	Verificato
14546	29626,72	52981,41	7487,81	7076,98	9121,66	72992,68	37931,13	2272,99	181078,04	1616412,52	1,80	10,07	12,82	Verificato
14549	29037,92	54926,44	8988,25	6580,59	8710,26	55881,37	38020,65	2917,78	167630,38	26				

### 3.9.2 Verifiche a pressoflessione

Le verifiche a pressoflessione sono state condotte in accordo da quanto proposto in NTC08 - §4.1.2. Per le caratteristiche geometriche delle sezioni si faccia riferimento all'abaco delle sezioni riportato negli Allegati D. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti.

Modello senza tamponature		
Base arco lato lungo $N_{ed} - M_{y_{ed}}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	137817340,88	-3086136,71
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	140166951,36	-3076864,72
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	137828911,63	-2995794,24

Tabella 3.57 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato lungo)

Modello con tamponature		
Base arco lato lungo $N_{ed} - M_{y_{ed}}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	147357904,55	-3440523,20
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	148834558,47	-3452121,46
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	147462551,94	-3398126,62

Tabella 3.58 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato lungo)

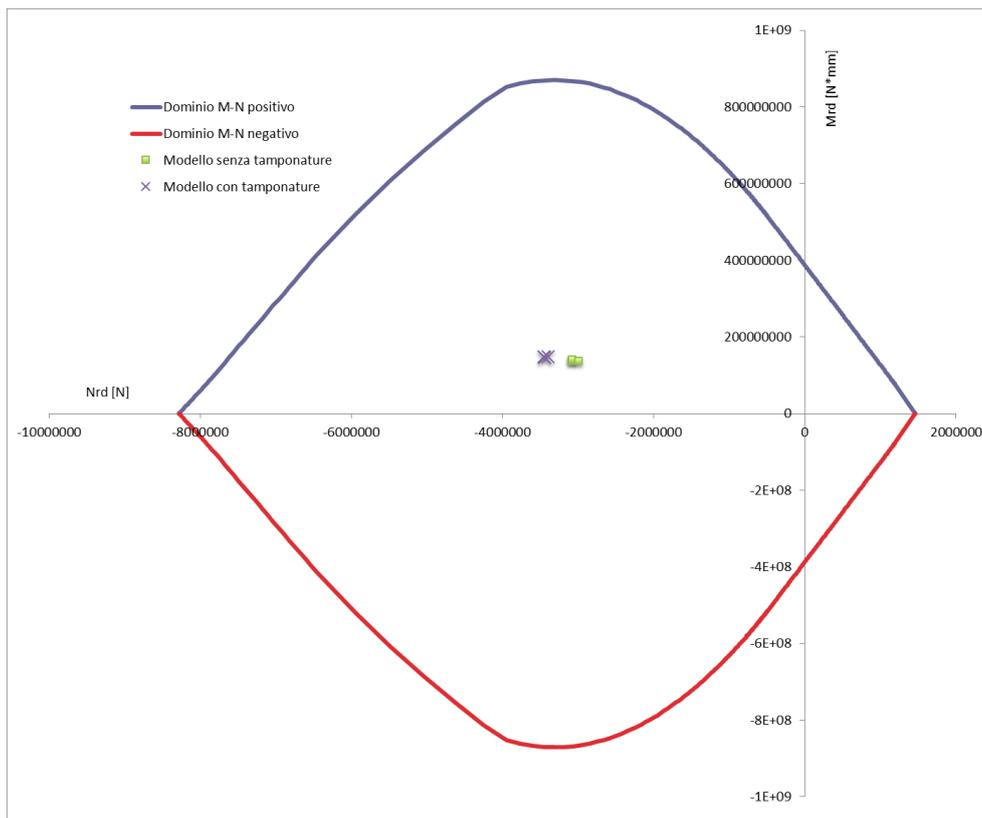


Grafico 3.3 Diagramma di interazione della sezione in C.A. alla base dell'arco (lato lungo)

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Modello senza tamponature		
Base arco lato lungo $N_{ed} - Mz_{ed}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	-27753038,99	-3086136,71
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	-28469260,93	-3076864,72
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	-13577426,05	-2995794,24

Tabella 3.59 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato lungo)

Modello con tamponature		
Base arco lato lungo $N_{ed} - Mz_{ed}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	14584864,58	-3440523,20
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	16293876,15	-3452121,46
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	6694826,15	-3398126,62

Tabella 3.60 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato lungo)

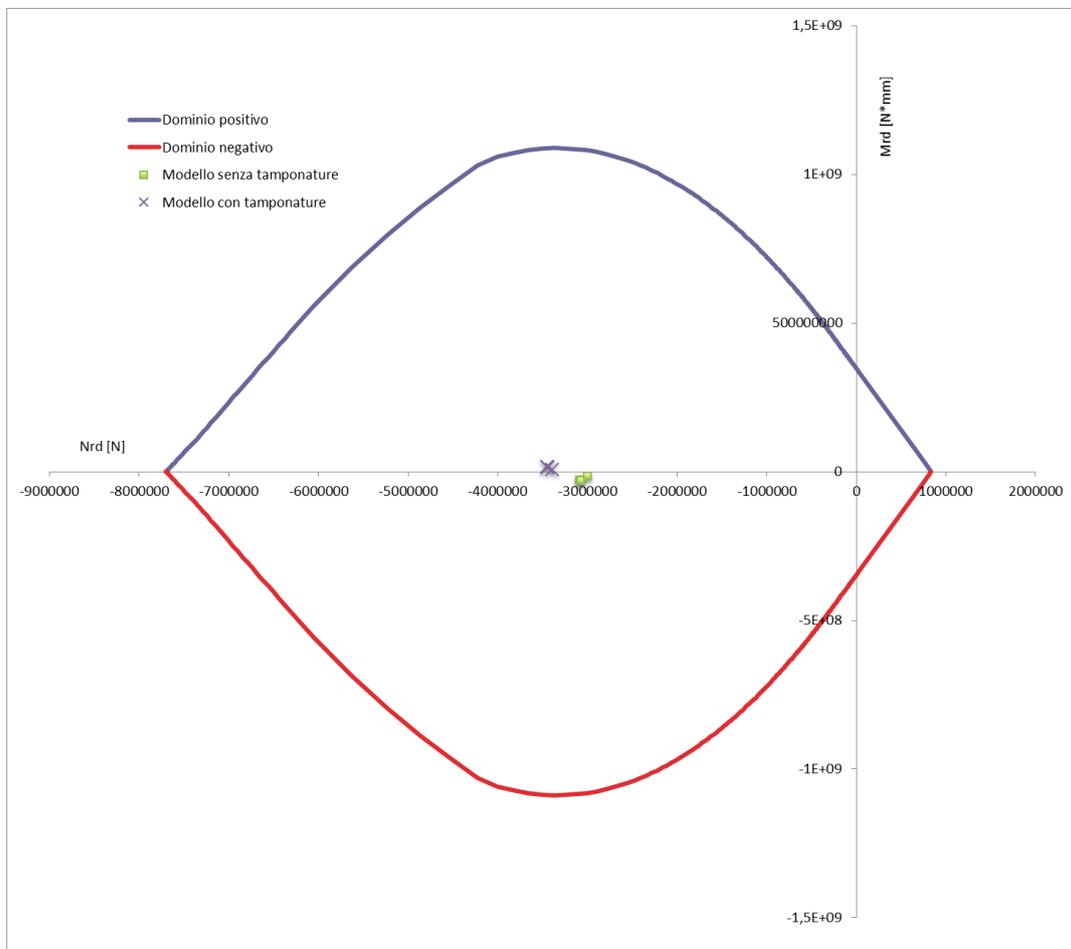


Grafico 3.4 Diagramma di interazione della sezione in C.A. alla base dell'arco (lato lungo)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Modello senza tamponature		
Mezzeria arco lato lungo $N_{ed} - M_{y_{ed}}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	-109563251,85	-2581242,91
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	-110866996,29	-2549709,50
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	-109570322,84	-2466088,02

Tabella 3.61 Sollecitazioni in mezzeria dell'arco (lato lungo)

Modello con tamponature		
Mezzeria arco lato lungo $N_{ed} - M_{y_{ed}}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	-119238312,09	-2894088,96
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	-120130997,77	-2891163,43
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	-119300528,11	-2838115,62

Tabella 3.62 Sollecitazioni in mezzeria dell'arco (lato lungo)

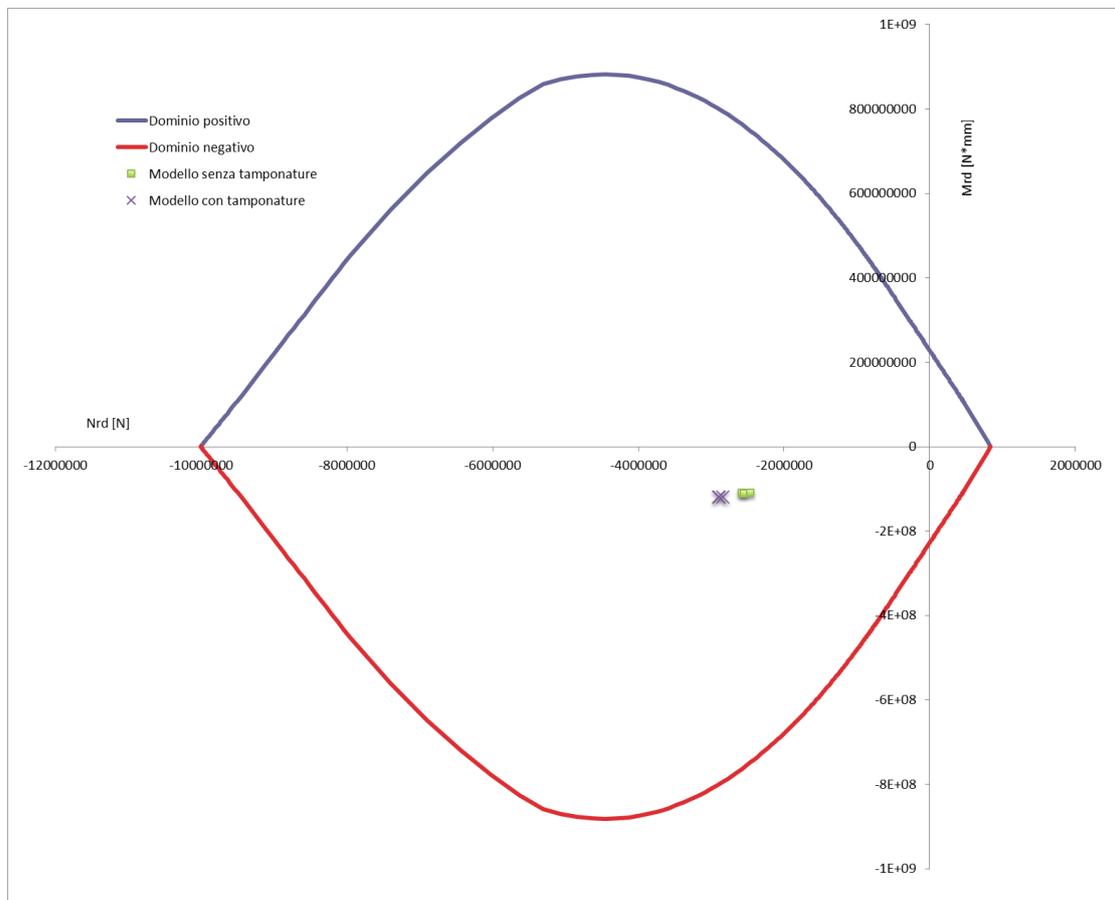


Grafico 3.5 Diagramma di interazione della sezione in C.A. in mezzeria dell'arco (lato lungo)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Modello senza tamponature		
Mezzeria arco lato lungo $N_{ed} - Mz_{ed}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	-97782409,44	-2581242,91
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	-97445972,40	-2549709,50
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	-76327112,02	-2466088,02

Tabella 3.63 Sollecitazioni in mezzeria dell'arco (lato lungo)

Modello con tamponature		
Mezzeria arco lato lungo $N_{ed} - Mz_{ed}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	-87114749,53	-2894088,96
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	-88637543,97	-2891163,43
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	-75246736,94	-2838115,62

Tabella 3.64 Sollecitazioni in mezzeria dell'arco (lato lungo)

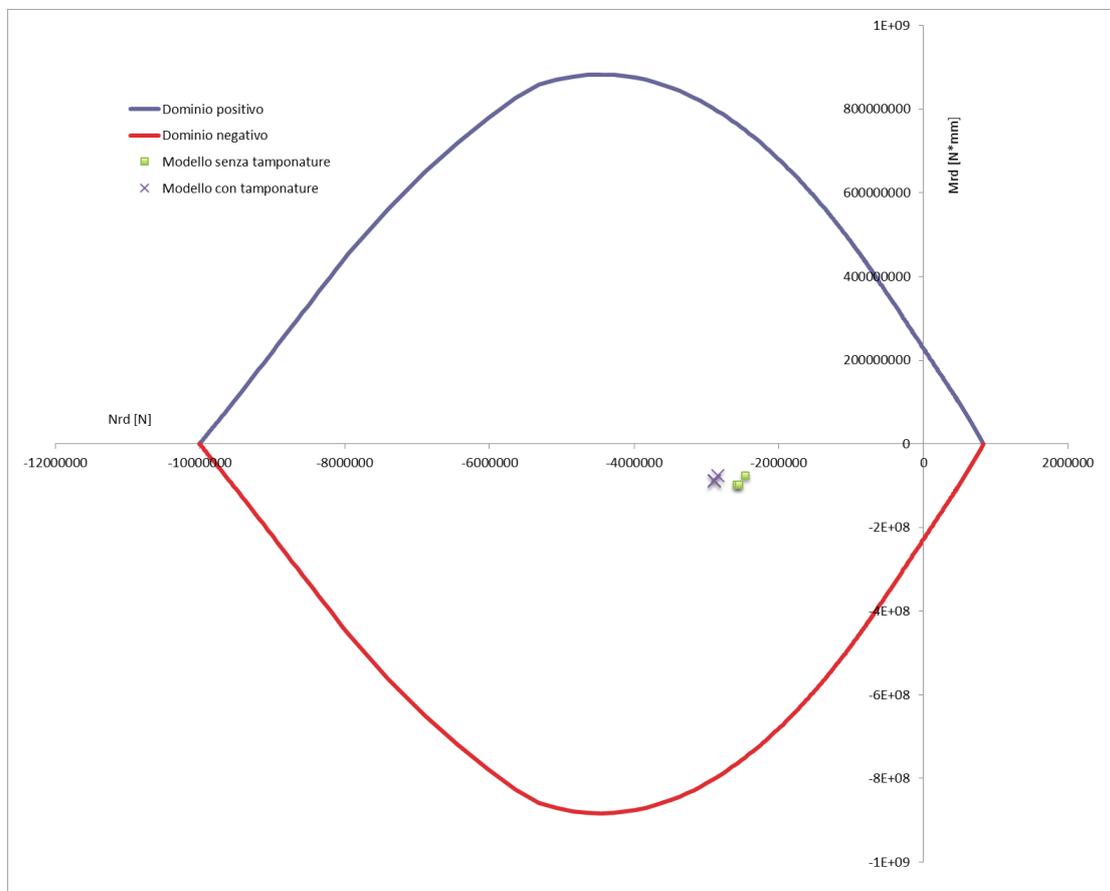


Grafico 3.6 Diagramma di interazione della sezione in C.A. in mezzeria dell'arco (lato lungo)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

	Modello senza tamponature	
	Base arco lato corto $N_{ed} - M_{y_{ed}}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	-6657766,89	-1724843,10
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	-65630888,95	-1837535,79
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	-65633867,61	-1735996,44

Tabella 3.65 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato corto)

	Modello con tamponature	
	Base arco lato corto $N_{ed} - M_{y_{ed}}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	-8239690,99	-1979477,97
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	-81907266,77	-2043207,08
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	-81938381,94	-1989124,05

Tabella 3.66 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato corto)

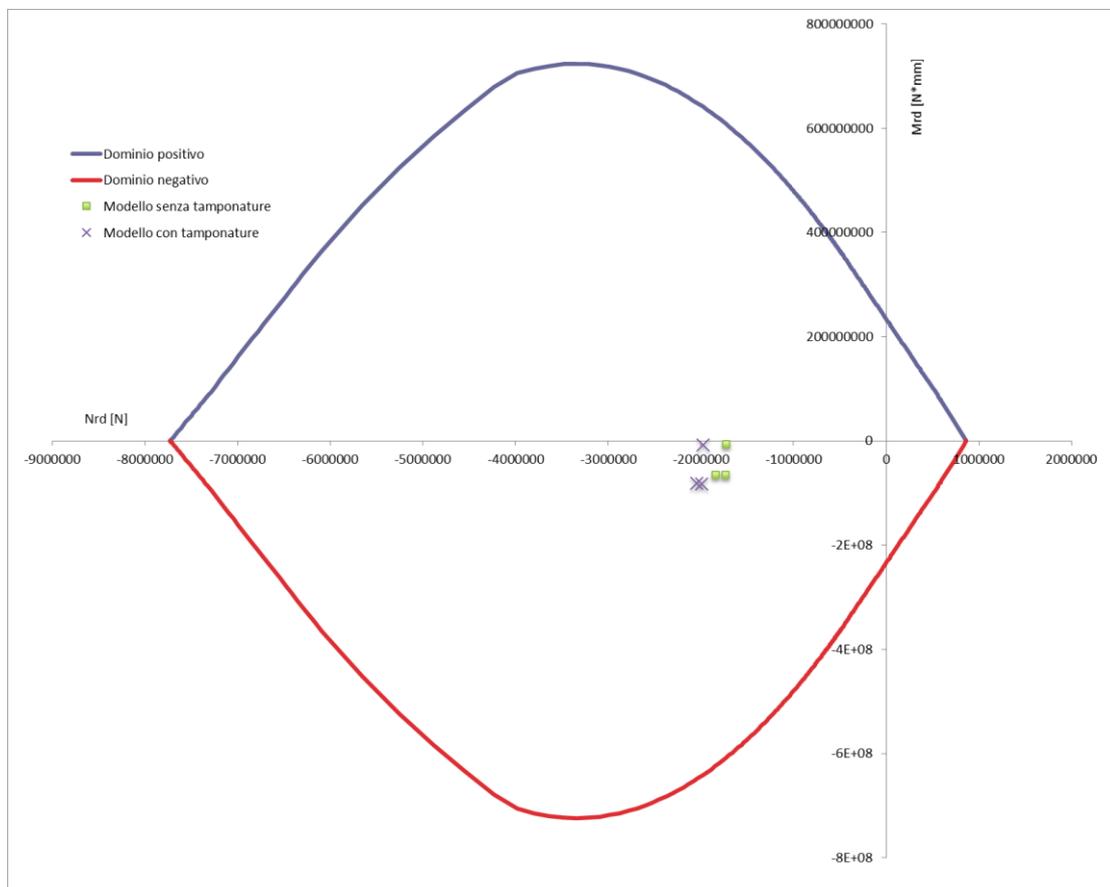


Grafico 3.7 Diagramma di interazione della sezione in C.A. alla base dell'arco (lato corto)

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Modello senza tamponature		
Base arco lato corto $N_{ed} - Mz_{ed}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	11068169,59	-1724843,10
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	6941463,24	-1837535,79
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	6061941,67	-1735996,44

Tabella 3.67 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato corto)

Modello con tamponature		
Base arco lato corto $N_{ed} - Mz_{ed}$		
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3	5435746,53	-1979477,97
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3	4580222,20	-2043207,08
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1	3254700,13	-1989124,05

Tabella 3.68 Sollecitazioni alla base dell'arco (lato corto)

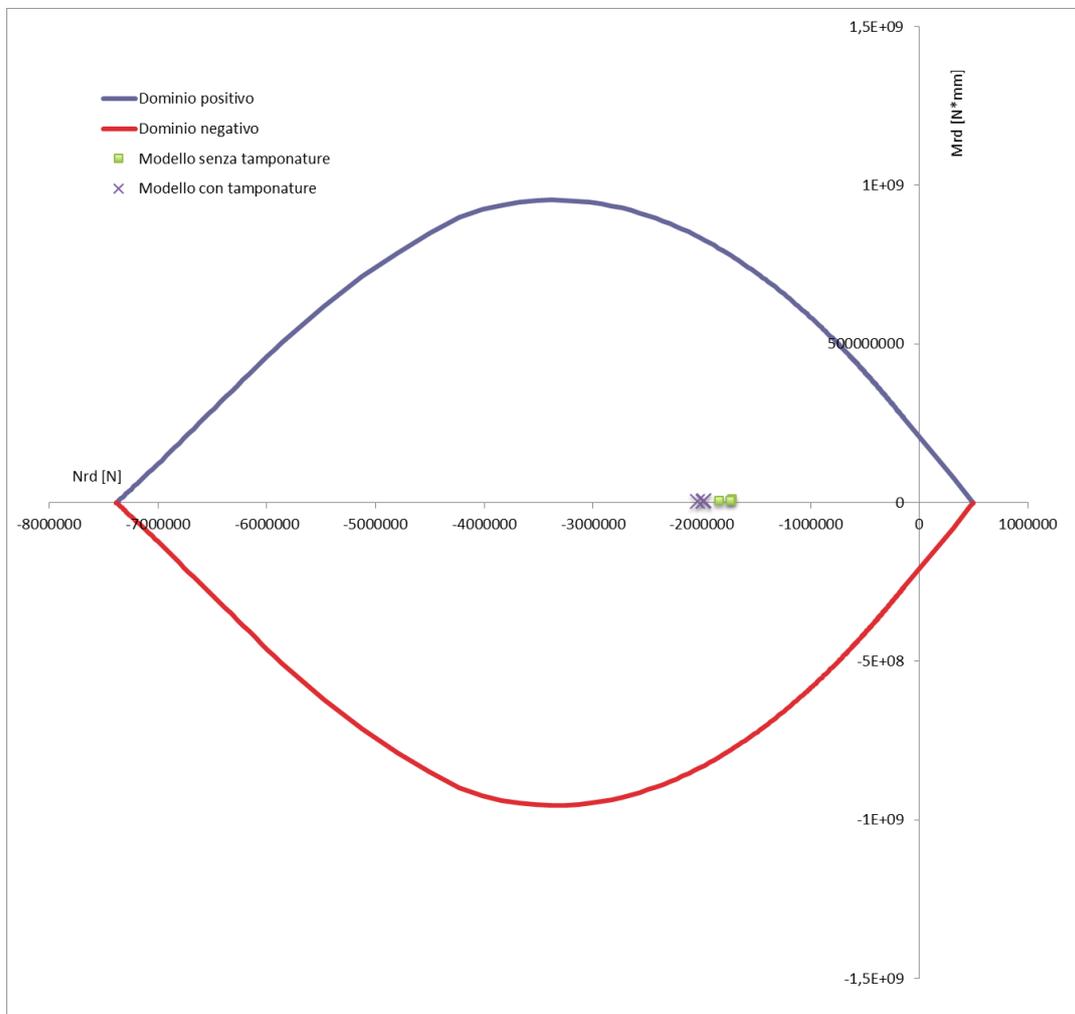


Grafico 3.8 Diagramma di interazione della sezione in C.A. alla base dell'arco (lato corto)

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

	<b>Modello senza tamponature</b>	
	<b>5° Pilastro pensilina <math>N_{ed} - M_{y_{ed}}</math></b>	
	<b><math>M_{ed}</math> [N*mm]</b>	<b><math>N_{ed}</math> [N]</b>
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	-94092,34	-42896,86
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	-80489,74	-42896,86
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	-80495,69	-42949,14
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	71824,88	-39713,29
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	68058,76	-39713,29
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	68322,27	-39765,54

*Tabella 3.69 Sollecitazioni nel 5° pilastro del lato lungo della pensilina*

	<b>Modello con tamponature</b>	
	<b>5° Pilastro pensilina <math>N_{ed} - M_{y_{ed}}</math></b>	
	<b><math>M_{ed}</math> [N*mm]</b>	<b><math>N_{ed}</math> [N]</b>
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	-55012,53	-73430,17
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	-50743,45	-73430,17
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	-50748,03	-73491,68
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	37211,86	-49049,46
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	32852,84	-49049,47
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	33025,09	-49105,57

*Tabella 3.70 Sollecitazioni nel 5° pilastro del lato lungo della pensilina*

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

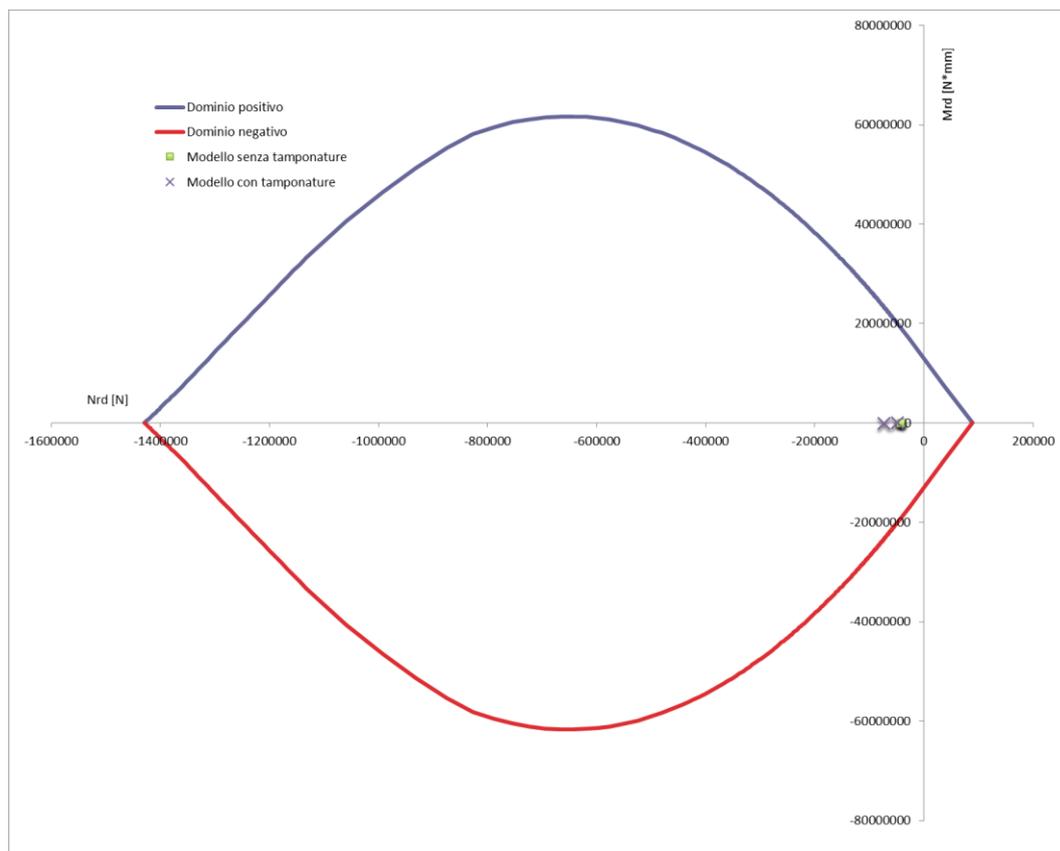


Grafico 3.9 Diagramma di interazione della sezione in C.A. alla base del pilastro della pensilina (lato lungo)

	Modello senza tamponature	
	5° Pilastro pensilina $N_{ed} - M_{zed}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	3860189,62	-42896,86
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	3901839,11	-42896,86
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	3860199,68	-42949,14
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	-8917017,39	-39713,29
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	-8933971,39	-39713,29
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	-8963005,28	-39765,54

Tabella 3.71 Sollecitazioni nel 5° pilastro del lato lungo della pensilina

	Modello con tamponature	
	5° Pilastro pensilina $N_{ed} - M_{zed}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	1425419,77	-73430,17
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	1579404,55	-73430,17
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	1425720,21	-73491,68
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	-3995221,79	-49049,46
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	-4142414,08	-49049,47
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	-4004150,84	-49105,57

Tabella 3.72 Sollecitazioni nel 5° pilastro del lato lungo della pensilina

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

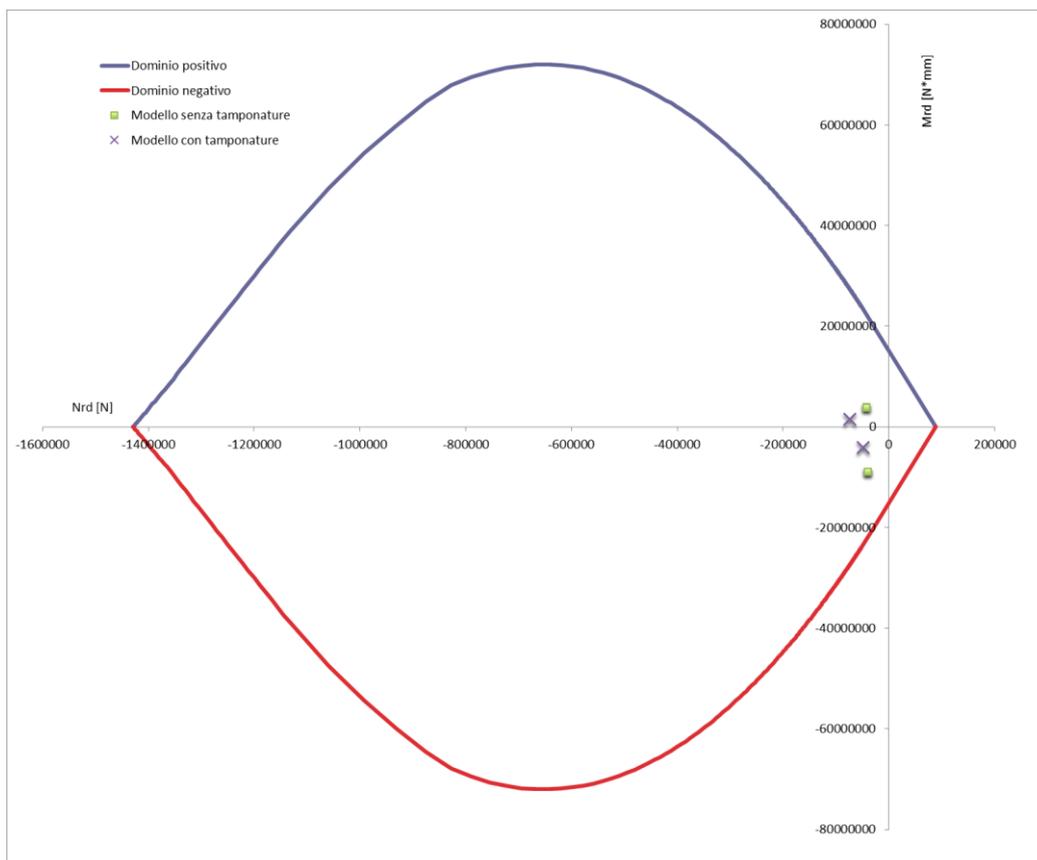


Grafico 3.10 Diagramma di interazione della sezione in C.A. del 5° pilastro della pensilina (lato lungo)

	Modello senza tamponature	
	Nervatura volta $N_{ed} - M_{y_{ed}}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	2229694,21	-13677,91
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	2230236,67	-23146,22
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	2195177,26	-14999,92
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	-938160,06	-124576,26
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	-939834,81	-117022,78
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	-940497,22	-115692,79

Tabella 3.73 Sollecitazioni nella nervatura principale della volta

	Modello con tamponature	
	Nervatura volta $N_{ed} - M_{y_{ed}}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	-2385625,55	-14624,61
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	-2416576,83	-20504,45
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	-2312869,05	-14308,05
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	-172746,76	-138345,45
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	-184738,68	-137161,23
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	-171214,63	-134606,86

Tabella 3.74 Sollecitazioni nella nervatura principale della volta

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

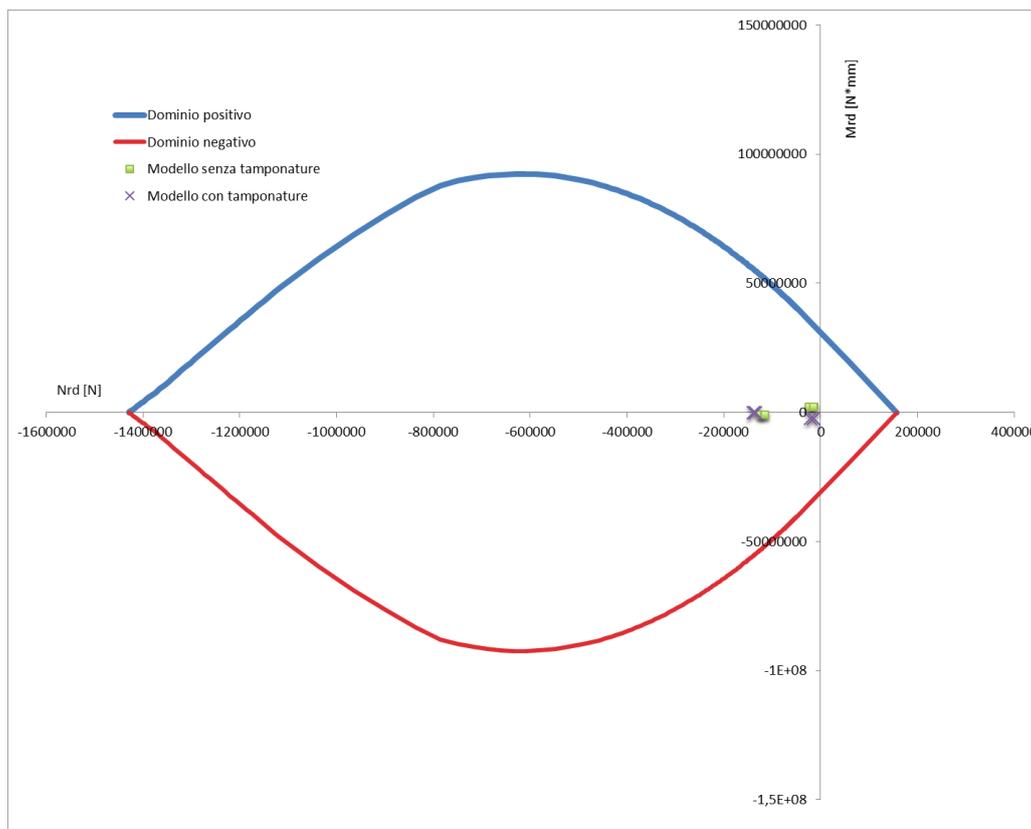


Grafico 3.11 Diagramma di interazione della sezione in C.A della nervatura principale della volta

	Modello senza tamponature	
	Nervatura volta $N_{ed} - Mz_{ed}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	2229694,21	-13677,91
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	2230236,67	-23146,22
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	2195177,26	-14999,92
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	-938160,06	-124576,26
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	-939834,81	-117022,78
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	-940497,22	-115692,79

Tabella 3.75 Sollecitazioni nella nervatura principale della volta

	Modello con tamponature	
	Nervatura volta $N_{ed} - Mz_{ed}$	
	$M_{ed}$ [N*mm]	$N_{ed}$ [N]
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. base	2675949,80	-14624,61
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. base	2686771,83	-20504,45
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. base	2666325,07	-14308,05
Comb. 1 - 0,3 - 0,3 - sez. sommità	-1157403,41	-138345,45
Comb. 0,3 - 1 - 0,3 - sez. sommità	-1158657,15	-137161,23
Comb. 0,3 - 0,3 - 1 - sez. sommità	-1158536,14	-134606,86

Tabella 3.76 Sollecitazioni nella nervatura principale della volta

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

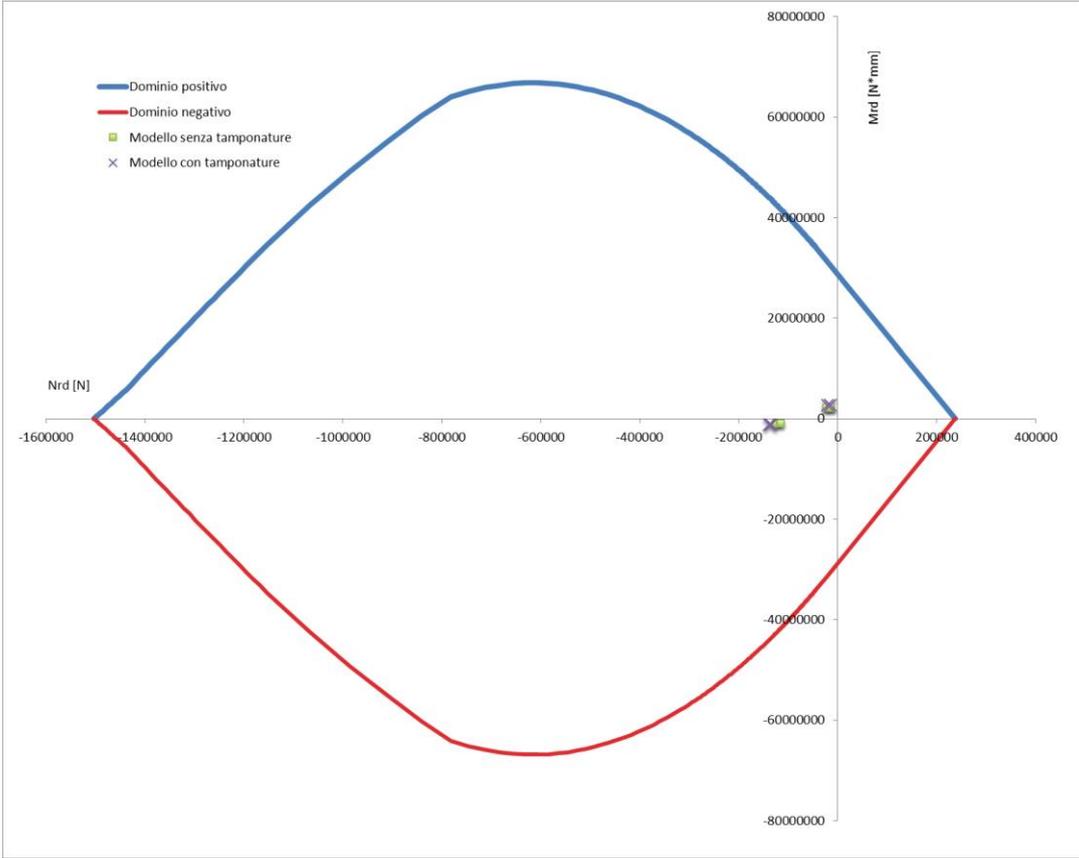


Grafico 3.12 Diagramma di interazione della sezione in C.A della nervatura principale della volta

### 3.9.3 Verifiche a taglio

Le verifiche a taglio sono state condotte in accordo da quanto proposto in NTC08 - §4.1.2. Per le caratteristiche geometriche delle sezioni si faccia riferimento all'abaco delle sezioni riportato negli Allegati D. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti.

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	3086	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia		2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9090	2,5000	1,250	195,27	1312,59
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>195,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>101,18</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.77 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	3077	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia		2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9090	2,5000	1,250	195,27	1312,59
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>195,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>103,79</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.78 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2996	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9090	2,5000	1,250	195,27	1312,59
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>195,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>49,50</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.79 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{z_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	3086	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
8,4924	2,5000	1,250	128,70	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>277,17</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.80 Tabella di verifica del taglio agente

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	3077	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
8,4924	2,5000	1,250	128,70	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>279,93</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.81 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2996	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
8,4924	2,5000	1,250	128,70	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>277,20</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.82 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	120,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2581	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	261,84	1760,54
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>261,84</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>330,82</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.83 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	120,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2550	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	261,84	1760,54
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>261,84</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>329,68</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.84 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Ty_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	120,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2466	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	261,84	1760,54
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>261,84</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>258,23</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.85 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	120,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2581	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,8232	2,5000	1,250	128,70	1730,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>209,30</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.86 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	120,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2550	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,8232	2,5000	1,250	128,70	1730,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>211,46</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.87 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	120,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2466	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,8232	2,5000	1,250	128,70	1730,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>209,32</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.88 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1725	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,6193	2,5000	1,249	101,70	1312,06
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>101,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>45,36</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.89 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1838	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,6226	2,5000	1,250	101,70	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>101,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>28,45</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.90 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1736	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,6226	2,5000	1,250	101,70	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>101,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>24,84</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.91 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{z_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1725	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
11,8024	2,5000	1,249	67,03	1297,15
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>67,03</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>193,84</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.92 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1838	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
11,8065	2,5000	1,250	67,03	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>67,03</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>193,38</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.93 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1736	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
13,6451	2,5000	1,250	50,27	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>50,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>193,40</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.94 Tabella di verifica del taglio agente

Base pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	43	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1069	2,5000	1,032	28,60	203,22
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,24</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.95 Tabella di verifica del taglio agente

Base pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	43	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1069	2,5000	1,032	28,60	203,22
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,30</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.96 Tabella di verifica del taglio agente

Base pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $T_{yed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	43	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1070	2,5000	1,032	28,60	203,23
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,26</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.97 Tabella di verifica del taglio agente

Base pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $T_{zed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	43	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,6872	2,5000	1,032	24,27	201,17
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,04</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.98 Tabella di verifica del taglio agente

Base pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	43	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,6872	2,5000	1,032	24,27	201,17
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,03</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.99 Tabella di verifica del taglio agente

Base pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	43	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,6873	2,5000	1,032	24,27	201,17
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,03</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.100 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	40	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]		39	numero braccia	2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,0986	2,5000	1,030	28,60	202,75
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,43</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.101 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	40	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]		39	numero braccia	2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,0986	2,5000	1,030	28,60	202,75
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,79</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.102 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Sommità pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{y_{ed}}</math> -- Modello senza tamponature</b>				
<b>Combinazione 0,3 - 0,3 - 1</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	40	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,0987	2,5000	1,030	28,60	202,76
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,68</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.103 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Sommità pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{z_{ed}}</math> -- Modello senza tamponature</b>				
<b>Combinazione 1 - 0,3 - 0,3</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	40	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,6782	2,5000	1,030	24,27	200,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,04</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.104 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	40	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,6782	2,5000	1,030	24,27	200,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,03</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.105 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello senza tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	40	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,6784	2,5000	1,030	24,27	200,71
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,03</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.106 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	3441	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia		2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	195,27	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>195,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>53,17</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.107 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	3452	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia		2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	195,27	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>195,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>59,40</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.108 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	3398	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	195,27	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>195,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>24,41</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.109 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{z_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	3441	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
8,4924	2,5000	1,250	128,70	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>300,12</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.110 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	3452	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia		2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
8,4924	2,5000	1,250	128,70	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>302,30</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.111 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		264,87
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		196,20
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		20,36
Carico assiale [kN]	3398	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		12,82
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]		20,00
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia		2
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
8,4924	2,5000	1,250	128,70	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>300,33</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.112 Tabella di verifica del taglio agente

3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	120,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2894	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	261,84	1760,54
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>261,84</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>294,73</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.113 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	120,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2891	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	261,84	1760,54
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>261,84</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>299,88</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.114 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	120,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2838	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
6,9099	2,5000	1,250	261,84	1760,54
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>261,84</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>254,58</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.115 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $T_{z_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	120,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2894	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,8232	2,5000	1,250	128,70	1730,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>228,54</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.116 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	120,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2891	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,8232	2,5000	1,250	128,70	1730,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>230,29</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.117 Tabella di verifica del taglio agente

Mezzeria arco lato lungo -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	120,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2894	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	8,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	101	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,8232	2,5000	1,250	128,70	1730,70
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>128,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>228,54</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.118 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1979	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,6226	2,5000	1,250	101,70	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>101,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>22,28</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.119 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2043	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,6226	2,5000	1,250	101,70	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>101,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>18,77</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.120 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{y_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	60,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	90,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1989	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
9,6226	2,5000	1,250	101,70	1312,94
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>101,70</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>13,34</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.121 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $T_{z_{ed}}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1979	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
11,8065	2,5000	1,250	67,03	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>67,03</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>245,89</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.122 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	2043	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	15,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
11,8065	2,5000	1,250	67,03	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>67,03</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>245,29</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.123 Tabella di verifica del taglio agente

Base arco lato corto -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	90,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	60,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	1989	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
13,6451	2,5000	1,250	50,27	1298,03
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>50,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>245,35</b>
<b>Non verificato, crisi acciaio</b>				

Tabella 3.124 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Base pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{y_{ed}}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 1 - 0,3 - 0,3</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	73	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1861	2,5000	1,055	28,60	207,68
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>1,11</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.125 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Base pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{y_{ed}}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 0,3 - 1 - 0,3</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	73	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1861	2,5000	1,055	28,60	207,68
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>1,22</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.126 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Base pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{y_{ed}}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 0,3 - 0,3 - 1</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	73	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1863	2,5000	1,055	28,60	207,69
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>1,10</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.127 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Base pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{z_{ed}}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 1 - 0,3 - 0,3</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	73	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,7726	2,5000	1,055	24,27	205,59
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,02</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.128 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Base pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>Tz_{ed}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 0,3 - 1 - 0,3</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	73	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,7726	2,5000	1,055	24,27	205,59
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,02</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.129 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Base pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>Tz_{ed}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 0,3 - 0,3 - 1</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	73	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,7728	2,5000	1,055	24,27	205,60
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,02</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.130 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Ty_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 1 - 0,3 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	49	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1229	2,5000	1,036	28,60	204,12
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>1,98</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.131 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Ty_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	49	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1229	2,5000	1,036	28,60	204,12
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,65</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.132 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Sommità pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{y_{ed}}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 0,3 - 0,3 - 1</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	30,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	35,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	49	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,1231	2,5000	1,036	28,60	204,13
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>28,60</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>2,01</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.133 Tabella di verifica del taglio agente

<b>Sommità pilastro pensilina -- <math>N_{ed}</math> - <math>T_{z_{ed}}</math> -- Modello con tamponature</b>				
<b>Combinazione 1 - 0,3 - 0,3</b>				
<b>Dati sezione e materiale</b>				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	49	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
<b>Armatura trasversale</b>				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
<b>Verifica a Taglio</b>				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,7045	2,5000	1,036	24,27	202,06
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,02</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.134 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 1 - 0,3				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	49	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,7045	2,5000	1,036	24,27	202,06
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,02</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.135 Tabella di verifica del taglio agente

Sommità pilastro pensilina -- $N_{ed}$ - $Tz_{ed}$ -- Modello con tamponature				
Combinazione 0,3 - 0,3 - 1				
Dati sezione e materiale				
Base [cm]	35,00	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	264,87	
Altezza [cm]	30,00	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	196,20	
Copriferro [cm]	2,00	$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20,36	
Carico assiale [kN]	49	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	12,82	
Armatura trasversale				
diametro staffe [mm]	5,00	passo [cm]	20,00	
Area staffe [mm <sup>2</sup> ]	39	numero braccia	2	
Verifica a Taglio				
$\theta$ per $V_{Rsd} = V_{Rsd}$	$\cotg\theta$	$\alpha_c$	$V_{Rsd}$ [kN]	$V_{Rcd}$ [kN]
7,7046	2,5000	1,036	24,27	202,06
<b>Taglio Resistente di Progetto <math>V_{Rd}</math> [kN]</b>				<b>24,27</b>
<b>Taglio Sollecitante <math>V_{ed}</math> [kN]</b>				<b>0,02</b>
<b>Verificato</b>				

Tabella 3.136 Tabella di verifica del taglio agente

### 3.10 Commento dei risultati ottenuti

**Arconi.** Gli arconi del lato corto e del lato lungo sono ben dimensionati a pressoflessione, anche considerando il notevole depotenziamento delle caratteristiche dei materiali, attraverso l'impiego dei fattori di sicurezza, dovuti allo scarso livello di conoscenza raggiunto. Inoltre, come previsto da P.L. Nervi gli arconi lavorano prevalentemente a compressione, poiché progettati secondo la curva delle pressioni. Infatti, nonostante sia presente una componente di momento (in entrambe le direzioni), questi sono in grado di resistere egregiamente nei confronti di tale sollecitazione. Lo stesso risultato purtroppo non si riscontra nei confronti della resistenza a taglio. Tali elementi risultano essere ben dimensionati dal punto di vista della resistenza a taglio compressione (in entrambe le direzioni), mentre si evince una insufficienza del meccanismo di resistenza a taglio trazione (soprattutto per la direzione entrante rispetto al piano degli arconi) dovuto all'insufficienza della staffatura, costituita da  $\phi 8$  ogni 20cm per l'arcone del lato lungo e da  $\phi 5$  ogni 15 cm per il lato corto, che può portare ad un meccanismo di rottura fragile. Tali sezioni non sono quindi verificate, perciò l'indice di sicurezza sismica (2.2) della struttura è inferiore a 1.

**Nervature copertura.** Le nervature principali della volta risultano ben dimensionate a pressoflessione, come nel caso degli arconi sono state dimensionate dal P.L. Nervi secondo la curva delle pressioni, perciò la componente prevalente risulta essere lo sforzo assiale di compressione. Purtroppo dai disegni pervenuti non si riscontra alcun tipo di indicazione sul numero e la posizione delle staffe per tali elementi, perciò non è stato possibile effettuare le verifiche.

**Tavelloni in ferro cemento.** Gli elementi in ferro cemento della copertura della volta sono anch'essi prevalentemente compressi, infatti la componente di momento risulta essere molto bassa. Dalle verifiche effettuate, nonostante il ridotto spessore, pari a 4,5 cm, sono in grado di soddisfare le verifiche a pressoflessione, dimostrando di avere ancora notevoli riserve di resistenza. Anche in termini di stato tensionale le verifiche risultano soddisfatte.

**Pilastrini.** Per quanto riguarda i pilastrini della pensilina di bordo, non dovendo portare un carico eccessivamente elevato, poiché il tetto è costituito tra travi ondulate in ferro cemento e da una soletta di completamento di ridotto spessore (4 cm), rispondono egregiamente alla componente orizzontale e verticale del sisma sia a pressoflessione che a taglio. Molto probabilmente data la bassa intensità sismica della zona, la combinazione di carico più gravosa è quella a stato limite ultimo, dove vengono considerati anche la neve ed il vento. Quest'ultima considerazione è valida per tutti gli elementi verificati. Nonostante l'esito positivo della verifica, occorre precisare che tali elementi sono armati con staffe a due bracci  $\phi 5$  a 20 cm, l'uso di tale diametro non è più consentito dalla normativa vigente, inoltre il passo delle staffe andrebbe opportunamente infittito in prossimità dei nodi. Tale accortezza (sulla base dei disegni disponibili) non è stata riscontrata, poiché è stato mantenuto un passo costante lungo tutto lo sviluppo dei pilastrini.

### 3 Il caso studio: Il salone C del complesso Torino Esposizioni

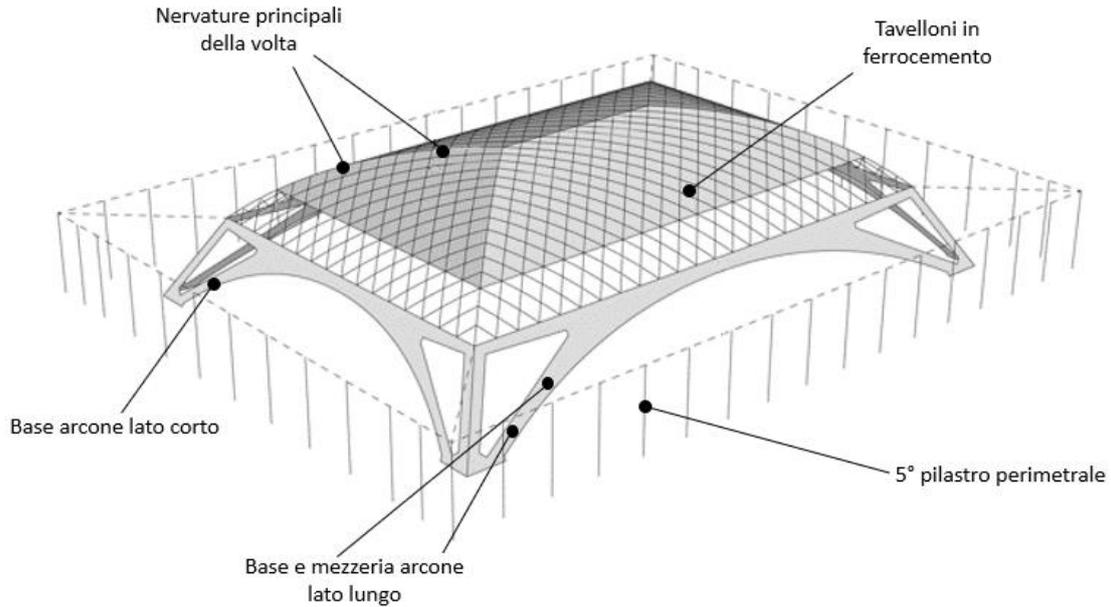


Figura 3.48 Visualizzazione grafica delle sezioni verificate

Riassunto risultati modello con e senza murature di tamponamento		
Identificativo elemento	Verifiche condotte	Esito verifica
Base arcone lato lungo	Pressoflessione N-My	Verificato
	Pressoflessione N-Mz	Verificato
	Taglio Ty	Verificato
	Taglio Tz	<b>Non verificato</b>
Mezzeria arcone lato lungo	Pressoflessione N-My	Verificato
	Pressoflessione N-Mz	Verificato
	Taglio Ty	<b>Non verificato</b>
	Taglio Tz	<b>Non verificato</b>
Base arcone lato corto	Pressoflessione N-My	Verificato
	Pressoflessione N-Mz	Verificato
	Taglio Ty	Verificato
	Taglio Tz	<b>Non verificato</b>
5° pilastro perimetrale	Pressoflessione N-My	Verificato
	Pressoflessione N-Mz	Verificato
	Taglio Ty	Verificato
	Taglio Tz	Verificato
Tavelloni in ferro cemento	Pressoflessione N-My	Verificato
	Pressoflessione N-Mz	Verificato
	Stato tensionale	Verificato
Nervature principali della volta	Pressoflessione N-My	Verificato
	Pressoflessione N-Mz	Verificato

Tabella 3.137 Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti

Nel complesso la struttura risulta essere ben dimensionata nei confronti dei carichi gravitazionali, presenta invece alcune criticità per quanto riguarda i carichi orizzontali dovute a carenze di dettagli costruttivi tipicamente riscontrabili negli edifici esistenti in calcestruzzo armato più datati. Per ovviare al problema sono stati proposti una serie di interventi non invasivi (cap. 5), basati sull'uso innovativo dei geopolimeri.

### 3.11 Bibliografia

- [1] Antonucci Francesco. "Posizionamento ottimale di sensori nel campo dei beni architettonici del XX secolo: il Salone C-Palazzo delle Esposizioni di Torino". Rel. Ceravolo Rosario, Co-Rel. Lenticchia Erica. Politecnico di Torino, corso di laurea magistrale in ingegneria civile, ottobre 2015.
- [2] J. F. Abel, G. Arun e M. A. Chiorino. "Pier Luigi Nervi: Art and technology in building". Journal of the international association for shell and spatial structures. Vol. 54, settembre 2013, ISSN: 1028-365X.
- [3] Riccardo Nelva. Dispense del corso di architettura tecnica, a.a. 2012/2013, Politecnico di Torino, DISEG.
- [4] G.C. Argan. "Pier Luigi Nervi". Ed. Il Balcone, Milano 1955.
- [5] Pevsner, N., "A Master Builder", The New York Review of Books, March 3, 1966.
- [6] CLAUDIO GRECO, "Pier Luigi Nervi Dai primi brevetti al Palazzo delle Esposizioni di Torino 1917-1948", Quart Edizioni, Lucerna 2008.
- [7] Olmo C., Chiorino C., "Pier Luigi Nervi: l'architettura come sfida", Silvana Editoriale, Milano, 2010.
- [8] Pier Luigi Nervi. "La struttura portante del nuovo Salone del Palazzo di Torino Esposizioni", Atti e rassegna tecnica della soc. degli ingegneri e architetti in Torino-N.S- A.IV- N.1-3-gennaio-marzo 1950.
- [9] "ANSYS Mechanical APDL Basic Analysis Guide", Release 13.0, Novembre 2010.
- [10] [www.arpa.piemonte.it](http://www.arpa.piemonte.it)
- [11] Erica Lenticchia, Rosario Ceravolo, Cristiana Chiorino. "Damage scenario-driven strategies for the seismic monitoring of XX century spatial structures with application to Pier Luigi Nervi's Turin Exhibition Centre". Engineering Structures (2017). Vol. 137: pp. 256-267.
- [12] Abruzzese, D.. "A model for ferrocement thin walled structures". In Thin-walled structures; advances and developments (pp.269-276). AMSTERDAM (2001): ELSEVIER SCIENCE BV.
- [13] CSAC, Centro Studi e Archivio della Comunicazione
- [14] R.D. 16.11.1939 n.2229. "Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato".
- [15] Favini Aldo. "Copertura in C.A.P. di una Chiesa (Baranzane)". Estratto dal giornale del genio civile, fascicolo 6°, giugno 1960.
- [16] Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, 2 febbraio 2009, n. 617. "Istruzioni per l'applicazione delle *"Nuove norme tecniche per le costruzioni"*.

[17] D.M. 14 gennaio 2008 n. 29, “Norme Tecniche per le Costruzioni”

## 4 Geopolimeri

### 4.1 Geopolimeri o alcali attivati?

Nella letteratura scientifica non è facile trovare una definizione univocamente accettata per rappresentare la classe dei materiali rappresentata dal nome “*geopolimeri*”. In generale si può affermare che con tale termine si intende raggruppare una famiglia di leganti idraulici aventi capacità simili a quelle del cemento portland. La differenza con quest’ultimo sta nel processo produttivo, che si basa sulla miscelazione di polveri ricche di silicio ed allumina con acqua in ambiente basico, ottenuto mediante l’utilizzo di reagenti alcalini [1].

A partire dagli’anni ’70, ad opera di J. Davidovits, venne coniato per la prima volta il termine “*geopolimero*” [2]. Il significato stesso della parola racchiude una definizione. Il prefisso geo- sta ad indicare la terra, ovvero tutta una serie di materiali che si trovano in grande quantità nella crosta terrestre. Il suffisso polimero sta ad indicare una classe di materiali formati a partire dalla ripetizione di unità elementari che si combinano tra di loro come gli anelli di una catena. Il risultato è una macromolecola formata da elementi ripetitivi detti monomeri. Il processo chimico che porta alla formazione di questi leganti è simile al processo di polimerizzazione conosciuto nella chimica del carbonio. Tuttavia le unità elementari sono differenti e costituite da elementi chimici che si trovano in grande quantità nel suolo terrestre, per questo vengono detti geopolimeri [3]. Conducendo ricerche in letteratura utilizzando la voce “*geopolimero*” ci si può imbattere in un omonimo, si tratta tuttavia di un composto organico che nulla ha in comune con l’oggetto della presente ricerca. Infatti i composti di seguito trattati sono totalmente inorganici [1].

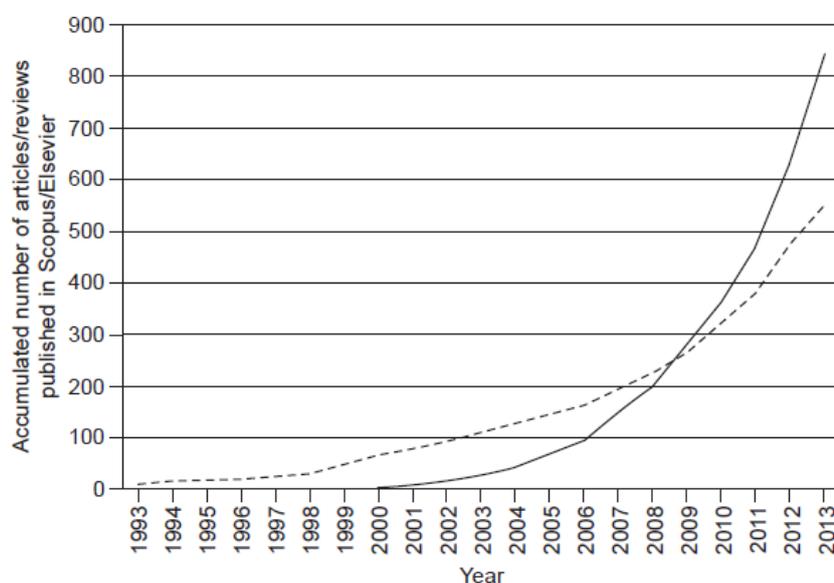


Figura 4.1 Cumulativa dell’ammontare delle pubblicazioni con chiave di ricerca “*geopolymer*” (linea continua) e con chiave di ricerca “*alkali-activated*” (linea tratteggiata) [36]

Altri nomi attribuiti dai ricercatori a questa classe di materiali sono “*inorganic polymers*”, “*soil cements*”, “*alkali-bonded ceramics*”, “*alkali ash material*”, “*inorganic polymer glass*”

ecc.. questo proliferare di nomi non ha fatto altro che creare confusione in letteratura, ostacolando la comprensione reciproca tra diversi gruppi di ricerca [1]. Pertanto un importante passo avanti, ancor prima della ricerca stessa, è quello di stabilire una nomenclatura univocamente accettata per descrivere questa famiglia di materiali. Infatti come dimostra la Figura 4.1 esiste ancora una grande confusione in letteratura.

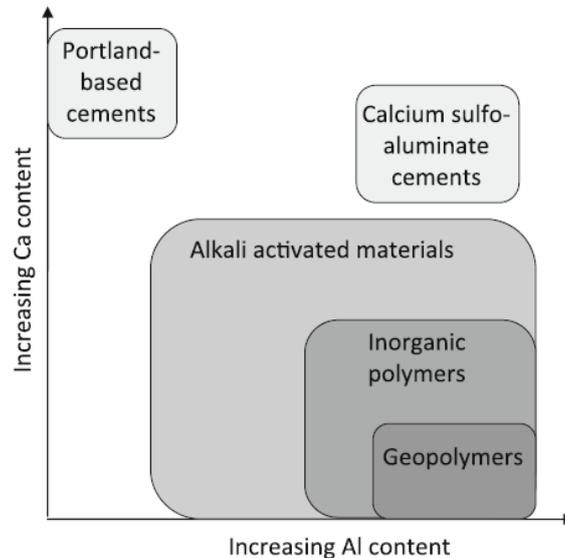


Figura 4.2 Proposta di classificazione di secondo J.S.J. van Deventer e J.L. Provis. La colorazione è proporzionale al contenuto alcalino dei materiali [7].

A tal proposito nel 2010 ad opera di Denveter e Provis viene elaborato il sistema di classificazione raffigurato in Figura 4.2 secondo il quale i geopolimeri fanno parte della grande famiglia dei materiali ad attivazione alcalina [7].

- Per materiali ad attivazione alcalina si intende un sistema di polveri a base di ossido di silicio fatte reagire con un sale alcalino. Le polveri a base di silicio possono derivare dal silicato di calcio, oppure da altri precursori come le ceneri volanti, la pozzolana, le scorie d’altoforno, i metacaolini, contenuti anche allumina.
- I polimeri inorganici sono caratterizzati da una microstruttura disordinata e rispetto ai cementi Portland presentano una maggiore reticolazione ed un contenuto di calcio inferiore.
- I geopolimeri sono un ulteriore sotto famiglia dei materiali ad attivazione alcalina, dove prevalgono gli alluminosilicati rispetto al calcio. Fanno parte di questa categoria le ceneri volanti e i metacaolini attivati con idrossidi o silicati a base di metalli alcalini [7].

Verrà in seguito presentata una breve cronistoria sui materiali ad attivazione alcalina.

## 4.2 Cenni storici

Le prime ricerche in materia risalgono al 1930 quando Kuhl studiò il comportamento di miscele di idrossido di sodio e scarti industriali. Purdon nel 1940 continuò gli studi di Kuhl e portò a termine le prime esaurienti campagne sperimentali su un clinker a base di scorie e soda caustica [1-37].

Negli anni 50 l'URSS necessitava di un materiale alternativo al cemento Portland, perciò Glukhovky iniziò a studiare le malte usate in antichità dai Romani. Sulla base delle sue osservazioni e dei risultati di Purdon e Kuhl inventò i "soil cement", ovvero una classe di cementi ottenuti attivando con soluzioni alcaline materie prime ad alto contenuto di silice e allumina e calcio, in particolare argille, feldspati, pozzolane e scorie industriali. Dagli anni sessanta con tale tecnologia vennero costruiti nei dintorni di Kiev strade, tubi, appartamenti, solai prefabbricati, dissuasori di traffico ecc.. Studi successivi condotti prelevando provini dalle strutture realizzate hanno confermato le ottime caratteristiche in termini di durabilità e di porosità del materiale [2-7].

Come già precedentemente esposto, negli anni 70 J. Davidovits coniò il termine geopolimero [1-7], i suoi primi studi in materia erano orientati alla ricerca di materiali altamente resistenti al fuoco, ai solventi organici e agli attacchi acidi, che potessero rimpiazzare le controparti a base di materia organica. Partendo dall'idea di Glukhovky ideò un materiale ad attivazione alcalina a basso contenuto di calcio, la componente principale era il metacaolino ottenuto tramite la calcinazione di argille ricche di caolino. Proprio da questo componente altamente comune nella crosta terrestre si origina la parola geopolimero. Questa prima variante di geopolimero ricade correttamente nel sistema di classificazione proposto da Denventer in Figura 4.2. I primi impieghi furono nel campo dell'antincendio, nelle navi da crociera, per la protezione termica di strutture in legno e come adesivi altamente resistenti uniti a fibre di carbonio [1-4].



Figura 4.3 Produzione di truciolato resistente al fuoco con geopolimero (Na-Poli (sialate) [4]

Sempre ad opera di J. Davidovits si devono i primi tentativi di utilizzo in campo civile. Intorno agli anni 80 ideò un calcestruzzo in grado di sviluppare ottime caratteristiche meccaniche in poche ore. L'impasto era costituito da metacaolino attivato mediante silicati basici e loppa d'alto forno. La funzione della scoria era quello di conferire resistenza a breve termine, mentre la geopolimerizzazione del metacaolino avanzava più lentamente. Questo calcestruzzo era registrato con il nome commerciale "Pyrament",

coperto da un brevetto con titolo *“Early High-Strength Mineral Polymer”*. Sebbene tale cemento possedesse una certa quantità di calcio derivante dalle scorie industriali d’altoforno, che lo collocherebbero più propriamente come materiale ad attivazione alcalina, Davidovits continuò a chiamarlo geopolimero, sfruttando il successo commerciale connesso a tal nome dalle sue precedenti scoperte [4-7]. Da questo momento in poi si apre la diatriba scientifica precedentemente esposta sulla corretta nomenclatura. I geopolimeri infatti sono composti prevalentemente da silicio ed allumina, aggiungendo materiali aventi attività pozzolanica significa aggiungere ossido di calcio che genera prodotti di reazione simili a quelli del cemento Portland. Il risultato è ancora un materiale ad attivazione alcalina, ma come avviene analogamente ai cementi di miscela, si usa questa tecnica per migliorarne le caratteristiche a breve termine. È chiaro che il prodotto finale non è più un geopolimero “puro” ma il trend dato dalla Figura 4.1 dimostra che la comunità scientifica sta attuando sempre più un ribaltamento, raggruppando sotto il nome di geopolimeri tutti i materiali ad attivazione alcalina. Per questo motivo nel seguito si parlerà indifferentemente di geopolimeri e materiali ad attivazione alcalina, anche se non propriamente corretto.

Negl’anni ’90 J. Wastiels scoprì la possibilità di combinare le ceneri volanti provenienti dalla combustione del carbone nelle centrali elettriche mediante soluzioni alcaline. Questo processo chimico, in accordo con quanto teorizzato negl’anni 50 da Glukhovky e confermato dalle esperienze di Davidovits degl’anni 70, è in grado di creare leganti dalle eccellenti capacità meccaniche e quindi ottimi per un impiego in campo civile [2]. Tale soluzione tecnica ha tuttavia una limitazione, non è impiegabile in situ poiché impiega molto più tempo rispetto al cemento Portland ad ottenere caratteristiche meccaniche soddisfacenti entro pochi giorni (resistenza a 7 e 28 gg). Per portare a termine la reazione velocemente occorre un periodo di cottura a 80 °C – 100 °C che limita l’uso alla sola produzione di manufatti prefabbricati. La soluzione al problema è quella di impiegare nuove miscele in grado di indurire a temperatura ambiente, mescolando in minima parte ai precursori una polvere ad attività pozzolanica come ad esempio la loppa d’alto forno, si ottiene una reazione esotermica che sopperisce al calore fornito dalla cottura in forno. Tale soluzione è stata per altro già proposta da Davidovits negl’anni 80 e sta lentamente prendendo piede ai giorni nostri [4-17-18-36]. Il risultato finale non è più descrivibile mediante la Figura 4.2 poiché si tratta di un ibrido, anche se viene generalmente chiamato cemento geopolimerico.

Ad oggi l’esponenziale aumento di interesse in questa famiglia di materiali è giustificata non solo dal fatto che possano competere in termini di resistenza meccanica con il cemento Portland ma anche dal punto di vista ambientale. Ad oggi è infatti imputabile all’industria delle costruzioni il 5% delle emissioni globali di CO<sub>2</sub>. L’uso di malte ad attivazione alcalina o geopolimeriche può ridurre le emissioni in atmosfera di diossido di carbonio dal 60% al 90% in base al processo produttivo utilizzato [6]. Queste caratteristiche delineano il quadro di un materiale che può in un futuro prossimo affiancare e in parte sostituire il cemento prodotto a partire dal clinker di Portland.

### 4.3 Le componenti dei geopolimeri

I materiali alla base del processo produttivo si dividono in precursori ed attivanti. I precursori sono costituiti principalmente da materiali ricchi di ossido di silice ed allumina. Gli attivanti sono invece soluzioni costituite da sali di metalli alcalini o idrossidi di metalli alcalini che generano pH elevati. La differenza principale rispetto al cemento Portland è il basso contenuto di calcio presente nei precursori e di conseguenza nell'impasto finale.

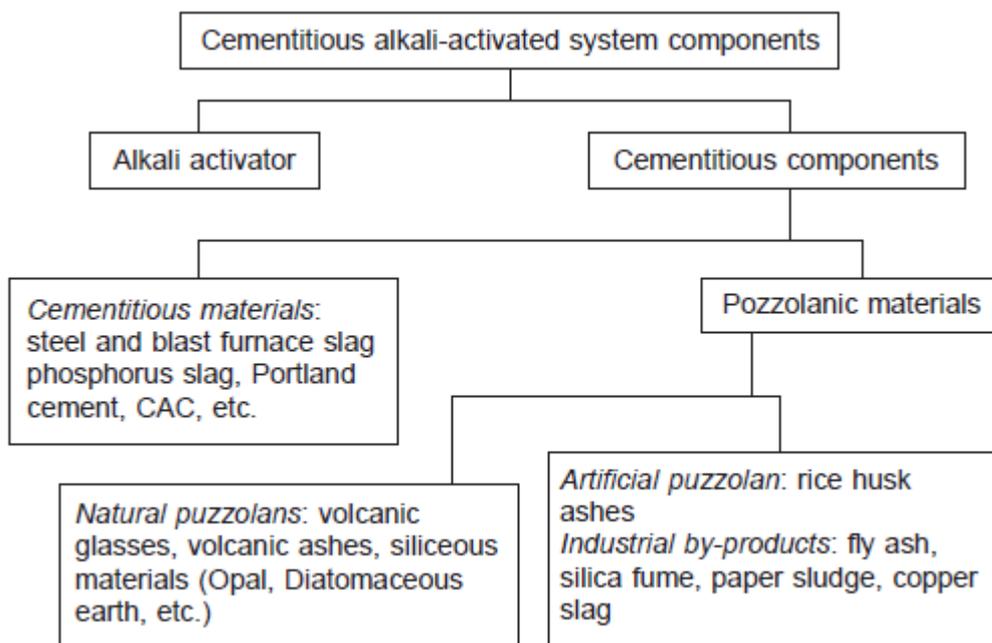


Figura 4.4 Componenti dei materiali ad attivazione alcalina [36]

I materiali in grado di soddisfare quanto proposto dalla Figura 4.4 sono i metacaolini ottenuti tramite il processo di calcinazione, le scorie industriali come la loppa d'alto forno, le ceneri volanti e i fanghi rossi, minerali vulcanici, pozzolane, la pula di riso... Oltre alla composizione chimica è importante anche la disposizione spaziale delle molecole nei prodotti di base, privilegiando la fase amorfa della silice poiché maggiormente reattiva nei confronti delle soluzioni alcaline [1-2]. Gli attivanti invece, hanno il compito di innescare la reazione chimica che porta alla formazione del prodotto finale, sono composti basici che possono essere utilizzati in modalità differenti a seconda della loro concentrazione molare. I composti maggiormente utilizzati sono i silicati di sodio e di potassio, l'idrossido di sodio e di potassio [8].

### 4.3.1 Metacaolini

Il caolino è un insieme di silicati idrati di alluminio di origine sedimentaria, composto principalmente da caolinite, la cui formula bruta è:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . È un prodotto naturale di colore bianco, grigio o giallo, abbondantemente diffuso nella crosta terrestre. Sono infatti presenti giacimenti in Europa (Italia, Francia e Gran Bretagna), Stati Uniti e Asia (Cina e Giappone). Il suo utilizzo principale è nel campo delle ceramiche. Dal caolino tramite il processo di calcinazione si ottiene il metacaolino, passaggio necessario per aumentare la reattività delle polveri alle soluzioni alcaline. Come illustrato nella figura seguente, tale processo ha il compito di attuare la deidrossilazione del caolino.

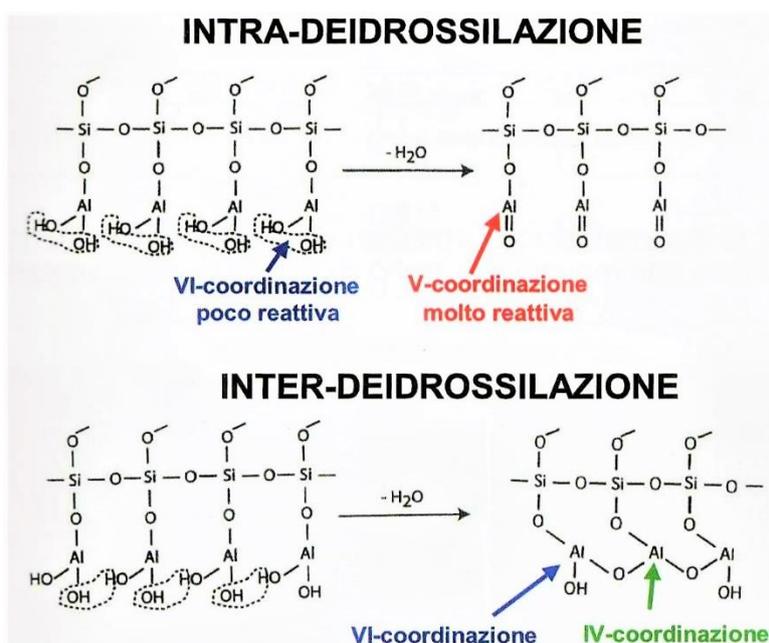


Figura 4.5 Deidrossilazione del caolino [2]

Con la intra-deidrossilazione si osserva la formazione di gruppi allumossili  $\text{Al}=\text{O}$ , anche detto alluminio in pentacoordinazione ( $\text{Al(V)}$ ). Ai fini del meccanismo di geopolimerizzazione i risultati migliori in termini di reattività si ottengono proprio con tale disposizione molecolare [2-10].

Mediante la inter-deidrossilazione si osserva la formazione di una sequenza del tipo  $\text{Al-O-Al-O}$  con relativa perdita d'acqua. Il prodotto finale è l'alluminio in coordinazione IV, tuttavia a causa dell'incompletezza del processo di formazione di ( $\text{Al(IV)}$ ) alcuni gruppi ossidrili non vengono convertiti in acqua, formando alluminio in coordinazione VI [2-10].

Il processo di produzione del metacaolino può essere effettuato mediante l'utilizzo di forni rotativi o di tipo flash. L'utilizzo non è indifferente e produce nel primo caso un prodotto dotato di minore reattività alle soluzioni alcaline, a causa della minore quantità di alluminio in pentacoordinazione. Inoltre occorre prestare attenzione alle temperature di cottura, secondo i dati di letteratura, l'intervallo ottimale è di  $700\text{ }^\circ\text{C} - 800\text{ }^\circ\text{C}$ . Se si superano queste temperature il processo predominante è quello della sinterizzazione con rispettiva diminuzione della superficie specifica delle particelle che si traduce in una minore reattività finale delle polveri [11].

### 4.3.2 Ceneri volanti

Il metodo più elementare ed anticamente conosciuto per generare calore è quello di bruciare materiale organico. Tale reazione chimica viene chiamata combustione, nella quale il combustibile è progressivamente consumato dal comburente generando calore, luce e prodotti di scarto. Quest'ultimi non sono altro che residui inorganici incombusti, anche detti ceneri. In particolare le ceneri volanti sono i residui della combustione del carbone, utilizzato nelle centrali termoelettriche per produrre energia. Il carbone è un materiale di origine organica ricco di impurità inorganiche, quali pirite, quarzo, feldspati, argilla.. che variano a seconda del giacimento. Durante la combustione ad elevate temperature 1400-1600°C le impurità si sciolgono costituendo un mix particellare solido che viene catturato e separato dai fumi mediante filtri meccanici o elettrostatici. L'addensamento ed il brusco raffreddamento delle particelle genera celle sferoidali cave come mostrato nella figura seguente [1-2].

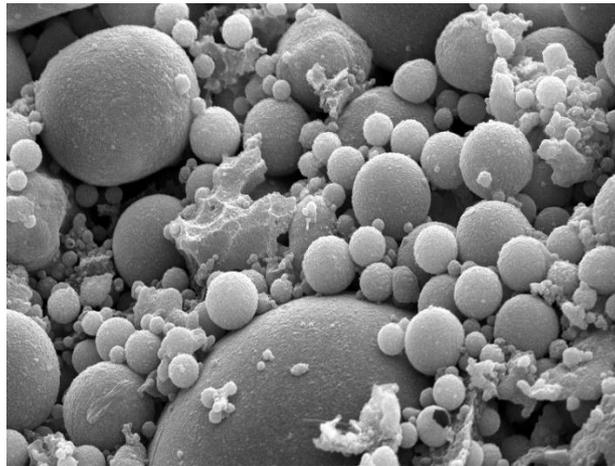


Figura 4.6 Micrografia SEM di una cenere volante [12]

La composizione chimica del prodotto finale varia sensibilmente a seconda della tipologia di carbone di partenza. Le componenti principali sono la silice, presente dal 40 al 60% in peso e l'allumina 20-30% in peso. Date le temperature tipiche di combustione del carbone, questi ossidi generano fasi cristalline quali mullite, ematite, magnetite e quarzo. Le ceneri volanti possono avere natura silico-alluminosa oppure silico-calcareo, per questo sono classificate dalle norme UNI EN 197/1 e ASTM C618 in due principali classi:

- cenere volante di classe F: ha basso contenuto di ossido di calcio reattivo, con una quantità massima inferiore uguale al 5% in peso. Sono i residui della combustione dei carboni più antichi, quali carboni bituminosi o dell'antracite. Il tenore di silice reattiva deve essere superiore al 25%. Le principali fasi cristalline sono mullite ed ematite. È la tipologia di cenere volante maggiormente utilizzata sia nel calcestruzzo (in sostituzione al cemento portland in percentuali variabili) che nelle reazioni di geopolimerizzazione.
- cenere volante di classe C: ha alto contenuto di ossido di calcio reattivo, con una quantità superiore al 5% in peso. Sono i residui della combustione dei carboni più giovani, quali carboni sub-bituminosi o della lignite. Data l'elevata presenza di ossido di calcio, ha proprietà pozzolaniche e cementizie eccellenti. Attualmente

#### 4 Geopolimeri

risulta essere scarsamente utilizzata e studiata nel campo dei geopolimeri, a causa anche della sua scarsa diffusione. Le principali fasi cristalline sono mullite, ematite, ferrite, quarzo, anidrite [1-2].

Nella figura seguente è possibile apprezzare la composizione chimica di ceneri volanti di classe C ed F ricavata dai dati disponibili in letteratura.

Element oxides	Class C	Class F
	Percentage	
CaO	15.1–54.8	0.50–14.0
SiO <sub>2</sub>	11.8–46.4	37.0–62.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.6–20.5	16.6–35.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.4–15.6	2.6–21.2
MgO	0.1–6.7	0.3–5.2
K <sub>2</sub> O	0.3–9.3	0.1–4.1
Na <sub>2</sub> O	0.2–2.8	0.1–3.6
SO <sub>3</sub>	1.4–12.9	0.02–4.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2–0.4	0.1–1.7
TiO <sub>2</sub>	0.6–1.0	0.5–2.6
MnO	0.03–0.2	0.03–0.1
Loss on Ignition (LOI) (%)	0.3–11.7	0.3–32.8

Figura 4.7 Composizione chimica di ceneri volanti di classe C ed F secondo dati di letteratura [13]

L'utilizzo delle ceneri volanti è una realtà che si è sempre più consolidata negli'ultimi decenni, non solo nel settore delle costruzioni, ma anche nella bonifica dei suoli, nella sintesi di zeoliti artificiali, impiego come agente catalizzante, nell'industria della ceramica ecc.. Il crescente interesse a livello globale in favore di questo prodotto è ormai certo, soprattutto nei paesi emergenti, dove si registra un aumento della richiesta energetica. Per sopperire a tale necessità è previsto un aumento di consumo del carbone utilizzato come carburante a basso costo nelle centrali termoelettriche. Di conseguenza gli studi sugli impieghi delle ceneri volanti, un tempo materiale di scarto, come materiale da costruzione risultano essere molto utili per contenere i livelli di inquinamento globale [13-14]. Di seguito si riporta una stima dell'utilizzo delle ceneri volanti nel mondo.

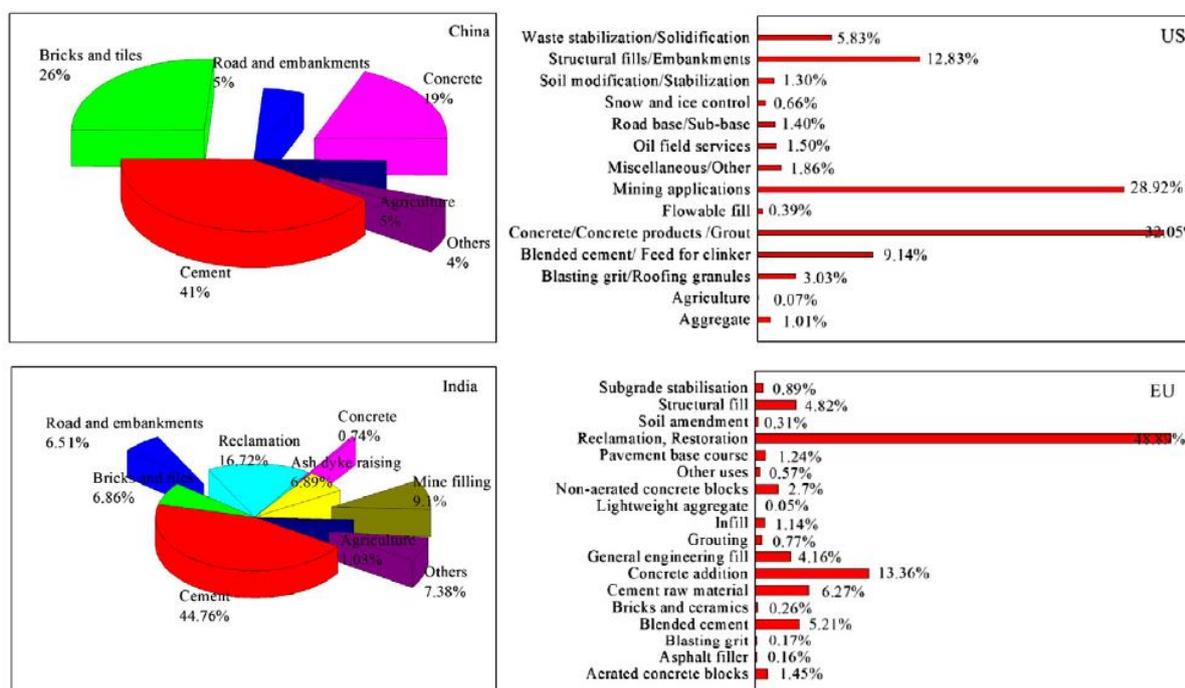


Figura 4.8 Utilizzo delle ceneri volanti in Europa, U.S.A., India e Cina [14]

### 4.3.3 Attivatori alcalini

La reazione di geopolimerizzazione, come già precisato precedentemente, ha bisogno di una componente alcalina attivante. I più comuni attivatori sono ottenuti a partire dai metalli alcalini, capaci di conferire al composto un pH elevato. Vengono utilizzati sotto forma di idrossidi come l'idrossido di sodio NaOH e di potassio KOH, oppure sotto forma di silicati come i silicati di sodio e di potassio (comunemente chiamati water glass)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_4$ . Sono stati inoltre condotti alcuni studi impiegando idrossido di rubidio RbOH e di cesio CsOH, tuttavia la loro rarità in natura e di conseguenza il loro alto costo non rendono il processo sostenibile. Inoltre all'aumentare della dimensione del catione aumenta il calore di idratazione, perciò i candidati migliori sia dal punto di vista fisico che economico sono il sodio ed il potassio [1-2].

L'utilizzo dell'idrossido di sodio o di potassio piuttosto che di un silicato di sodio o di potassio non è indifferente. Dal punto di vista operativo i composti chimici utilizzati come attivanti per la reazione di geopolimerizzazione sono distinti in prodotti corrosivi e prodotti irritanti. L'utilizzo di prodotti corrosivi comporta elevati livelli di rischio, per maneggiarli occorrono guanti, occhiali protettivi e maschere. Questi accorgimenti sono tipicamente adottati da personale di laboratorio formato ed informato, non sono invece adatti ad un uso applicativo dalle comuni maestranze edili. Pertanto l'utilizzo di agenti altamente corrosivi come l'idrossido di sodio e di potassio ad alte concentrazioni molari (da 8M a 12M) non è sostenibile sul campo [8]. Di seguito è riportata una classificazione delle sostanze in base al loro grado di pericolosità.

 <b>hostile</b>	<b>friendly</b> 
CaO (quick lime) NaOH, KOH	Ca(OH) <sub>2</sub> Portland cement, Iron slag
Sodium metasilicate SiO <sub>2</sub> :Na <sub>2</sub> O = 1.0	Slurry soluble silicate/kaolin 1.25 < SiO <sub>2</sub> :Na <sub>2</sub> O < 1.45
Any soluble silicate SiO <sub>2</sub> :Na <sub>2</sub> O < 1.45	Any soluble silicate SiO <sub>2</sub> :Na <sub>2</sub> O > 1.45

Figura 4.9 Schema della pericolosità dei prodotti attivanti [8]

Ne consegue che secondo J. Davidovits l'applicazione sul campo dei geopolimeri è da considerarsi sicura e quindi fattibile soltanto impiegando soluzioni a base di silicati con rapporto molare  $\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O}$  (M sta ad indicare il metallo alcalino) maggiore a 1,45 [8], oppure un mix di silicati e di idrossido con concentrazione inferiore a 8M [15]. Vale inoltre la pena precisare che anche a livello ambientale è da preferirsi l'uso dei silicati alcalini solidi piuttosto che degli idrossidi. Infatti in caso di accidentale dispersione si diluiscono rapidamente in acqua, formando silicati insolubili totalmente innocui, poiché comunemente presenti in natura nel terreno e nelle rocce [2].

Dal punto di vista delle reazioni chimiche, maggiore è il pH della soluzione e maggiore sarà la velocità di geopolimerizzazione con conseguente aumento della resistenza meccanica del prodotto finale. Gli elementi più piccoli presentano una maggiore capacità di dissoluzione dei precursori, mentre i cationi più grandi favoriscono la polimerizzazione e l'indurimento, aumentando la resistenza meccanica [2].

L'utilizzo di composti a base di sodio piuttosto che di potassio varia a seconda del grado di reattività del precursore. Gran parte delle recenti ricerche si basano sull'utilizzo delle ceneri volanti, le quali senza l'aggiunta di scorie d'alto forno come proposto da J. Davidovits hanno bassa reattività e necessitano quindi dell'utilizzo di soluzioni attivanti aventi pH particolarmente elevato.

### 4.3.4 Scorie d'altoforno granulate

La scoria d'alto forno, più comunemente detta loppa d'altoforno, è un sottoprodotto di scarto derivante dal ciclo produttivo della ghisa. La produzione di questa lega (ferro-carbonio) si basa sulla riduzione degli ossidi metallici contenuti in minerali ferrosi mediante la combustione del carbon coke. Per facilitare il processo vengono aggiunti agenti fondenti, costituiti principalmente da ossidi di calcio e di silicio [16-9].

Il processo produttivo avviene a 1500 °C, a tale temperatura gli ossidi che non raggiungono la riduzione allo stato metallico costituiscono un prodotto di scarto. Il flusso produttivo genera quindi ghisa e sottoprodotti che vengono separati fisicamente sfruttando la differenza di densità dei due materiali. Dal punto di vista chimico nella loppa d'altoforno sono presenti a seconda degli agenti fondenti utilizzati ossido di calcio (CaO), biossido di silicio (SiO<sub>2</sub>), ossido di magnesio (MgO) e ossido di alluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [16].

Si parla di loppa acida se la quantità di ossido di silice è predominante rispetto all'ossido di calcio, mentre viene denominata loppa basica nel caso contrario. Le loppe basiche vengono principalmente impiegate come componente aggiuntivo – sostitutivo nella produzione di cementi d'altoforno. Le loppe acide vengono invece impiegate, dopo opportuna lavorazione, come coibenti termo – acustici utilizzati nelle costruzioni civili oppure nelle pavimentazioni stradali [9].

Quando la scoria è estratta dall'altoforno può essere trattata in modi differenti:

- se fatta raffreddare lentamente in pozzi o su superfici piane formerà una massa prevalentemente cristallina e perciò poco reattiva, chiamata air-cooled blast furnace slag (ABS). Successivamente viene sottoposta a schiacciatura, formando un materiale simile alle rocce naturali, perciò utilizzabile come aggregato nelle malte cementizie.
- se fatta raffreddare velocemente ed intensamente, insufflando aria oppure mediante acqua formerà una massa granulare amorfa e perciò molto reattiva, chiamata GBS (granulated blast furnace slag). La GBS ha eccellenti proprietà pozzolaniche perciò può essere impiegata come legante idraulico. Se macinata, si ottiene la GGBS (ground granulated blast furnace slag) che può essere utilizzata

nella costruzione delle strade, oppure macinata in aggiunta al clinker di portland per ottenere cementi dalle caratteristiche superiori [16].

Nel seguito è riportato un quadro riassuntivo dei prodotti di scarto precedentemente citati.

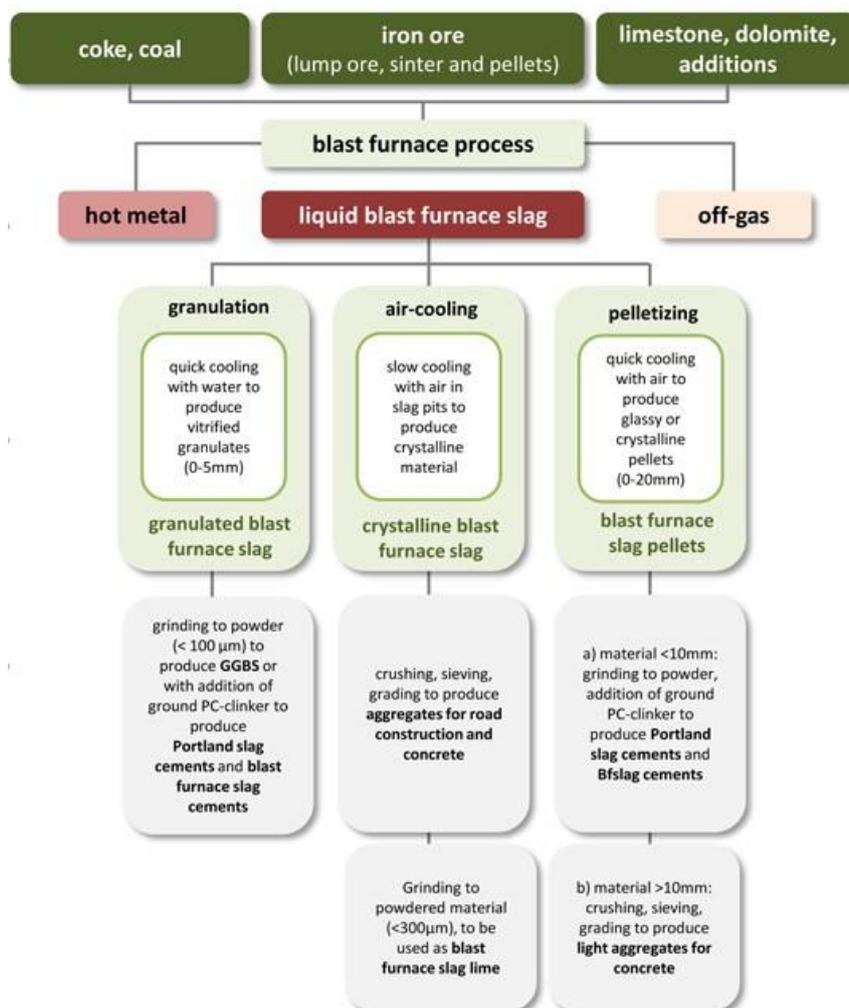


Figura 4.10 Schema della filiera produttiva della loppa d'altoforno [16]

La loppa d'altoforno risulta essere ad oggi un eccellente esempio di come un prodotto di scarto possa essere opportunamente trasformato in una materia prima. Il suo utilizzo nel campo del cemento di portland è ormai consolidato, in tal senso si può far riferimento alla norma UNI EN 15167-1:2006 *Loppa granulata d'altoforno macinata per calcestruzzo, malta e malta per iniezione* che fornisce le opportune regolamentazioni in materia.

Nel campo dei geopolimeri, il suo impiego e studio è relativamente recente ed è strettamente correlato alle ceneri volanti. Questi due componenti di scarto, se dosati con opportune proporzioni, possono generare malte capaci di sviluppare a temperatura ambiente eccellenti proprietà meccaniche [17-18].

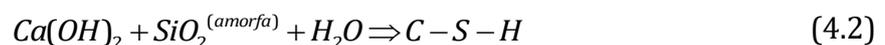
### 4.3.5 La pozzolana

Le piroclastiti, più comunemente chiamate pozzolane, sono residui di eruzioni vulcaniche di tipo esplosivo. Il materiale vulcanico viene lanciato in atmosfera a seguito di violente esplosioni, conseguentemente subisce un brusco raffreddamento che conferisce al materiale una natura altamente amorfa e quindi molto reattiva dal punto di vista chimico. A causa della velocità di raffreddamento le fasi cristalline non si possono formare, prevalgono perciò quelle vetrose [20].



Figura 4.11 Pozzolana rossa dei campi flegrei [19]

La composizione chimica varia sensibilmente a seconda del giacimento, proprio a causa della natura vulcanica. Sono tuttavia presenti prevalentemente silice  $\text{SiO}_2$  ed allumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  per almeno i 2/3 del peso totale. La pozzolana se mescolata ad acqua non indurisce, perciò da sola non è un legante idraulico. Al contrario lo diventa se viene mescolata alla calce, dando origine a quello che viene comunemente chiamata attività pozzolanica. Il meccanismo di reazione è il seguente:



L'ossido di calcio, detto anche calce viva viene mescolata ad acqua, generando la calce idrata o idrossido di calcio. Successivamente la calce idrata viene mescolata con la pozzolana (in genere finemente macinata), reagendo con la silice amorfa e l'acqua genera i silicati di calcio idrati che conferiscono proprietà strutturali alla malta. Lo stesso tipo di reazione avviene se utilizzata in combinazione al clinker di portland. La pozzolana consuma l'idrossido di calcio non idratato migliorando le caratteristiche meccaniche a lungo termine del materiale, oltre che ad aumentarne la durezza [30].

La pozzolana come la cenere volante, presenta tutte le caratteristiche necessarie per portare a compimento con successo la geopolimerizzazione. Nel 2008 Allahverdi, Mehrpour e Kani hanno condotto uno studio su una malta geopolimerica a base di

pozzolana attivata con silicato di sodio ed idrossido di sodio. Sebbene gli attivatori alcalini siano particolarmente pericolosi, hanno ottenuto ottimi risultati in termini di resistenza a compressione a 28 giorni, raggiungendo 63.0 Mpa, lasciando maturare l'impasto a temperatura ambiente [31].

### 4.3.6 Lolla di riso

La lolla di riso è un prodotto agricolo di scarto derivante dalla lavorazione del riso. Tramite un processo meccanizzato detto "sbramatura" vengono separate dal chicco le brattee, ovvero l'involucro esterno del chicco, che andranno a costituire la lolla di riso. A seconda della varietà di riso si riscontra una produzione maggiore o minore in termini di peso, che oscilla tra il 17% ed il 23% [34].



Figura 4.12 Lolla di riso [32]

Nonostante sia un prodotto di scarto, trova impiego in innumerevoli applicazioni, sia in campo agricolo che industriale. Ha basse proprietà nutritive ed un potere calorifico di 14 MJ/kg, perciò viene impiegata con successo come combustibile rinnovabile [34]. È costituita per il 40% in peso di cellulosa, 30% di lignina e per il restante 20% di silicio. Data la sua alta concentrazione di silicio è un prodotto altamente imputrescibile. La combustione genera ingenti quantità di cenere (denominata anche RHA, ovvero rice husk ash) ricca di ossido di silicio  $\text{SiO}_2$  reattivo. Quest'ultimo conferisce alle RHA proprietà pozzolaniche, perciò è utilizzato con successo nel calcestruzzo in sostituzione alle fly ash generate dalle centrali a carbone [33].

Composition	RHA
Clay ( $\leq 2 \mu\text{m}$ )	4.0
Silt ( $2-75 \mu\text{m}$ )	86.5
Sand ( $>75 \mu\text{m}$ )	9.5
$\text{SiO}_2$	91.5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	-
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	-
NaOH	-
$\text{NaAlO}_2$	-
CaO	-
$\text{K}_2\text{O}$	2.3
$\text{TiO}_2$	-
MnO	-
C	6.0
Total	99.8

Figura 4.13 Size fraction (wt.%) and chemical composition (wt.%) of the RHA [33]

Recentemente l'attenzione e gli studi che riguardano il recupero di rifiuti inutilizzati mediante la tecnologia dei geopolimeri ha fatto innumerevoli passi avanti, anche le RHA trovano spazio in questo campo come parziale sostituto delle ceneri volanti oppure in combinazione con i fanghi di lavorazione dell'alluminio. Come si evince dalla figura precedente la percentuale in peso di ossido di silicio è predominante, perciò non può essere utilizzata da sola ma piuttosto in combinazione con altri componenti aventi una sufficiente quantità di allumina, per soddisfare la **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** È anche presente una discreta quantità di residui organici incombusti (C sta per residui carboniosi). Le dimensioni finali dopo la combustione sono invece quasi del tutto ricadenti nella categoria dei limi, ovvero con una dimensione delle particelle compresa tra 2 e 75  $\mu\text{m}$ , perciò comparabili con le fly ash delle centrali a carbone. Alternativamente la RHA viene usata come componente attivante in combinazione all'idrossido di sodio per sostituire i silicati di sodio [33].

### 4.3.7 Fanghi di lavorazione dell'alluminio

I fanghi di lavorazione dell'alluminio anche detti red mud sono un sottoprodotto di scarto derivante dal processo Bayer per l'estrazione dell'alluminio dalla bauxite. Si stima che per ogni unità di alluminio prodotto si producano quasi due unità di fango. A livello mondiale vengono prodotti ogni anno oltre 90 milioni di tonnellate, il che rende questo prodotto di scarto industriale uno dei problemi maggiori dell'industria metallurgica.



*Figura 4.14 Fanghi rossi stoccati nelle lagune di Portovesme [35]*

I fanghi rossi sono composti principalmente da ossidi di ferro con percentuali che vanno dal 30% al 60%, sono inoltre ricchi di sodio introdotto nel processo produttivo dell'alluminio. Questo li rende altamente basici, con pH che varia da 10 a 13, facendone uno scarto industriale altamente pericoloso a livello ambientale. Il metodo comunemente adottato per lo smaltimento di questi fanghi è lo stoccaggio in stagni o lagune opportunamente impermeabilizzate per scongiurarne la dispersione ambientale [35]. Nella figura successiva è illustrata la composizione chimica di un tipico fango rosso, a farne un candidato ideale del processo di geopolimerizzazione è la presenza di allumina.

Una valida alternativa al recupero di questo rifiuto industriale è quella di un utilizzo in combinazione con la RHU, illustrata nella sezione precedente.

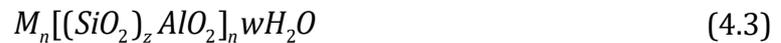
Composition	RM
Clay ( $\leq 2 \mu\text{m}$ )	33.0
Silt ( $2-75 \mu\text{m}$ )	43.0
Sand ( $>75 \mu\text{m}$ )	24.0
SiO <sub>2</sub>	1.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.9
NaOH	20.2
NaAlO <sub>2</sub>	23.0
CaO	2.5
K <sub>2</sub> O	-
TiO <sub>2</sub>	4.5
MnO	1.7
C	-
Total	98.0

Figura 4.15 Size fraction (wt.%) and chemical composition (wt.%) of the RM [33]

Le configurazioni chimiche della cenere derivante dalla combustione della pula di riso ed i fanghi rossi sono due prodotti di scarto industriali complementari, usandoli combinatamente come precursori è possibile ottenere discreti risultati come studiato da Jian He e al. In particolare i risultati migliori si ottengono combinando in misura 50% RHA e 50% RM, in tal modo la totale assenza di allumina della RHA è compensata dai RM [33]. L'ostacolo più grande nel riutilizzo di questo residuo industriale, come anche per altri scarti, è la non uniformità chimica del prodotto. Questo ostacola in maniera decisiva la messa a punto di un prodotto seriale, a meno che si eserciti un accurato e costante controllo chimico delle componenti, unito ad un mix design dinamico, capace di fornire prodotti finali aventi le stesse caratteristiche.

## 4.4 La geopolimerizzazione

La geopolimerizzazione è una reazione che si sviluppa tra una polvere ricca di silice reattiva e allumina ed una soluzione acquosa di metalli alcalini. I prodotti di reazione sono alluminosilicati idrati amorfi noti con il nome (secondo Davidovits) di poli(sialati) se Al/Si = 1, poli(silosso-sialati) se Al/Si = 2 e poli(disilosso-sialati) se Al/Si = 3. Tuttavia tale nomenclatura non contempla rapporti Al/Si non interi, perciò in letteratura è stata comunemente sviluppata la seguente formula empirica:



dove M è il generico catione metallico ( $K^+$  oppure  $Na^+$ ), n è il grado di polimerizzazione e z può assumere i valori 1, 2, 3. In analogia ai prodotti di idratazione derivanti dal cemento Portland tali alluminosilicati sono conosciuti con il nome di N-A-S-H gel [1-2-10-36].

Il meccanismo di geopolimerizzazione può subire alcune variazioni a seconda della natura del prodotto iniziale, tuttavia è possibile adottare il modello generale di Glukhovsky per descrivere i passi fondamentali del processo. Le fasi di reazione sono tre: distruzione – coagulazione, coagulazione – condensazione, condensazione – cristallizzazione. Queste rappresentano solo una schematizzazione concettuale, poiché nella realtà avvengono simultaneamente.

- Durante la fase di distruzione – coagulazione si rompono i legami covalenti Si-O-Si e Al-O-Si grazie all'azione indebolente degli ioni  $OH^-$ . Si osserva quindi la formazione di unità monomeriche del tipo  $\cdot O-Si$ ,  $Si-OH$  e  $Al(OH)_4^-$ . Allo stesso tempo i cationi alcalini si combinano con il silicio per bilanciare le cariche, formano  $Si-O^-Na^+$  [1-36].
- Nella seconda fase all'aumentare delle unità monomeriche aumenta anche il contatto tra le stesse, inizia quindi a crearsi una struttura coagulata. Si formano quindi per combinazione dei monomeri unità oligomeriche. Se prima il metallo alcalina fungeva da catalizzatore della reazione ora invece partecipa attivamente alla formazione della struttura finale [1-36].
- Nell'ultima fase viene raggiunta la saturazione della soluzione, con conseguente precipitazione del gel. L'aggregazione reciproca di più unità N-A-S-H forma un agglomerato spaziale amorfo. Eventuali inerti presenti in soluzione prendono parte superficialmente alla reazione, legandosi indissolubilmente al gel che funge quindi da collante [1-36].

Una rappresentazione schematica del processo descritto e del prodotto finale è fornita in Figura 4.16.

## 4 Geopolimeri

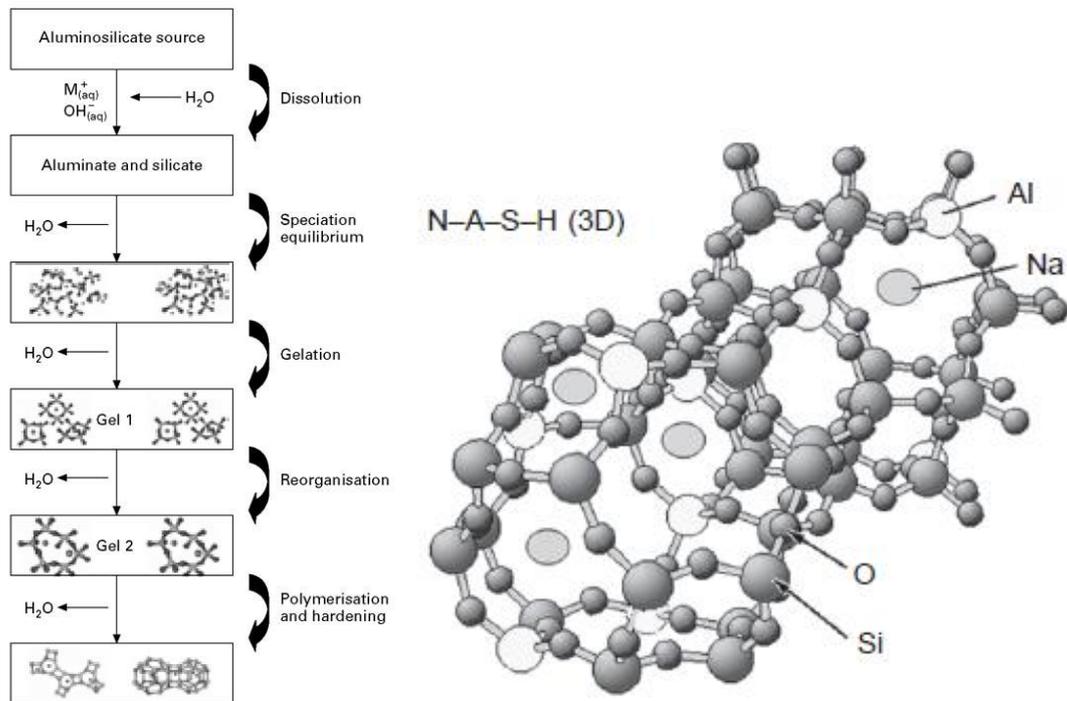


Figura 4.16 A sinistra modello concettuale della geopolimerizzazione proposto da Duxson e al. (2007), a destra rappresentazione tridimensionale del N-A-S-H gel [1-36].

### 4.4.1 L'influenza dei rapporti molari sul prodotto finale

Dai rapporti molari delle componenti di base del geopolimero sono strettamente dipendenti le caratteristiche finali del prodotto. Perciò per qualsiasi tipo di materiale di partenza (che presenti tuttavia le caratteristiche di un precursore secondo i criteri precedentemente esposti) si possono riassumere i seguenti risultati [1-2-4-36-38].

- Il rapporto Si/Al determina le proprietà meccaniche e microstrutturali del geopolimero. Secondo Duxson il valore ottimale per malte ottenute a partire da solo metacaolino è 1,90. Tuttavia è possibile trovare in letteratura rapporti più elevati, soprattutto in caso di utilizzo di ceneri volanti. Per usi refrattari il rapporto Si/Al può arrivare anche a 35.
- Il rapporto Na/Al o K/Al è il responsabile del bilanciamento delle cariche, il valore ottimale è 1. Un rapporto non ottimale può portare alla carbonatazione del prodotto finale. Infatti le cariche positive Na<sup>+</sup> o K<sup>+</sup> possono combinarsi con la CO<sub>2</sub> atmosferica generando Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. In presenza di umidità gli ioni Na<sup>+</sup> o K<sup>+</sup> possono scambiarsi con lo ione H<sup>+</sup> di minore dimensione, generando sforzi di trazione nel materiale, con conseguente comparsa di cricche.
- I rapporti SiO<sub>2</sub>/M<sub>2</sub>O e H<sub>2</sub>O/M (con M metallo alcalino Na o K) rappresentano il grado di alcalinità della soluzione. Per un maneggiamento sicuro sul campo si consiglia l'uso di composti aventi rapporto SiO<sub>2</sub>/M<sub>2</sub>O maggiore di 1,45 (4.3.3). Mentre per il rapporto H<sub>2</sub>O/M viene generalmente tenuto fisso intorno a 11.

#### 4.4.2 Confronto rispetto al cemento Portland

Rispetto al processo di idratazione del cemento Portland si osserva che:

- La reazione di geopolimerizzazione inizia a pH molto elevati ( $\text{pH} \approx 13 \div 14$ ) per poi attestarsi intorno a valori più bassi ( $\text{pH} \approx 11 \div 12$ ). Nel cemento, la reazione parte a pH neutro per poi salire progressivamente fino a  $\text{pH} \approx 12 \div 13$  con la progressiva formazione dei prodotti di idratazione.
- Le tre fasi sopra citate avvengono simultaneamente, mentre nel cemento il processo di idratazione continua progressivamente fino a maturazione avvenuta (solitamente si considerano 28 gg.).
- Nel cemento non sono presenti fasi cristalline, nel processo di geopolimerizzazione è possibile la formazione di piccole fasi cristalline, soprattutto nel caso si utilizzi come precursore la cenere volante.
- La presenza di ossido di calcio nelle materie prime, a differenza di quanto avviene nei cementi, non è fondamentale per la reazione. Tuttavia recentemente sono state studiate nuove miscele contenenti in minima parte CaO, ad esempio ceneri volanti e loppa d'altoforno, oppure metacaolino e loppa. Il risultato finale non è più solo il gel N-A-S-H, ma anche altre specie contenenti Ca, chiamate C-(A)-S-H. Questo particolare mix design porta ad alcuni vantaggi. La reazione è più esotermica, perciò è possibile fare a meno della fase di cottura in forno per sostenere il processo, diminuendo quindi il consumo energetico di risorse. Contestualmente si verifica un aumento delle prestazioni meccaniche del prodotto finale, a causa del carattere maggiormente amorfo rispetto alla sola presenza di gel N-A-S-H e scongiurando la formazione di fasi cristalline più deboli [1-2-17-36].

## 4.5 Prestazioni dei geopolimeri

La caratterizzazione fisico – chimica dei geopolimeri, ad oggi, non è stata ancora del tutto esplorata. Da quanto si evince dai paragrafi precedenti i geopolimeri sono una famiglia di materiali dinamici, ovvero possono essere prodotti da una combinazione di precursori ed attivanti molto ampia. Proprio a causa delle possibili declinazioni chimiche delle polveri, basti pensare ai rapporti molari precedentemente esposti, dei metodi di attivazione e delle tecniche di maturazione si può dare origine a materiali dalle caratteristiche fisiche – chimiche differenti. In generale lo spettro delle caratteristiche può essere così riassunto [1-2-10]:

- notevole resistenza a compressione, sia mediante maturazione in forno che a temperatura ambiente
- elevata lavorabilità della pasta cementizia
- meccanismo di presa ed indurimento avente tempo regolabile a seconda della formulazione scelta
- alta resistenza al fuoco, con temperature fino a 1000 °C, non si registra l'emissione di gas tossici a seguito l'esposizione alla fiamma
- ottimo comportamento in ambiente marino
- ottima resistenza agli attacchi acidi
- sono in grado di legarsi perfettamente ad eventuali aggregati, senza formazione di prodotti chimici indesiderati
- elevata capacità adesiva nei confronti di acciaio, vetro, calcestruzzo sia fresco che vecchio
- pH del composto finale altamente basico, ottimo per attuare il meccanismo di auto- passivazione dell'acciaio
- ritiro dimensionale inferiore rispetto al cemento Portland
- bassa conducibilità termica
- porosità regolabile a seconda dei componenti e delle tecniche di maturazione adottate
- costo di produzione inferiore rispetto al cemento Portland nel caso in cui vengano utilizzate polveri derivanti da scarti industriali, ad esempio le ceneri volanti derivanti dalla combustione del carbone nelle centrali termoelettriche.

Anche se non è detto che le precedenti proprietà si registrino contemporaneamente nella stessa matrice geopolimerica, si delinea certamente il profilo di un materiale versatile, che è in grado di adattarsi a innumerevoli circostanze, nel caso in cui il mix design venga appositamente studiato.

### 4.5.1 Prestazioni meccaniche dei geopolimeri

A differenza di altri aspetti in letteratura è possibile reperire una grande quantità di informazioni sulla resistenza meccanica di questo materiale, poiché si può affermare che sia un indice del grado di reazione delle componenti. Maggiore è il grado di reazione e

maggiore sarà in generale la resistenza del materiale, poiché rimangono meno componenti inattivate nella matrice finale che non hanno contribuito alla resistenza meccanica [2-10]. A tal proposito è importante il contenuto di ossido di silice reattiva, occorre infatti prediligere polveri ricche di silice amorfa rispetto alla fase cristallina che ha bisogno di maggiore energia per essere coinvolta nel processo.

A causa della notevole variabilità di produzione a partire da polveri chimiche differenti non è possibile dare una precisa indicazione sulle proprietà meccaniche generali delle matrici geopolimeriche, a meno che ci si riferisca ad una singola classe ottenuta a partire dal medesimo precursore. Si riportano quindi i risultati trovati per i geopolimeri maggiormente studiati, ovvero quelli a base di metacaolino e quelli a base di cenere volante. Si può tenere in conto che per i geopolimeri ottenuti da precursori differenti dai precedenti è possibile ottenere risultati simili utilizzando le stesse linee guida adottate per le matrici maggiormente studiate.

Per quanto riguarda le ceneri volanti la maggior parte degli esperimenti sono stati condotti su fly-ash di classe F, cioè a basso contenuto di Calcio. Secondo gli studi di Davidovits i migliori risultati si ottengono prediligendo polveri in cui la fase vetrosa della silice è compresa tra il 70 % ed il 90 %, la restante fase cristallina, costituita da mullite e quarzo in parte prenderà parte al processo ed in parte andrà a costituire uno scheletro solido che ne aumenterà le prestazioni [18].

Come per le i geopolimeri derivanti da ceneri volanti, anche nel caso di utilizzo di metacaolino è importante il contenuto percentuale reattivo di componenti. Occorre prediligere molecole aventi alluminio in pentacoordinazione, ottenute utilizzando forni verticali o flash ad una temperatura di 700 °C – 800 °C per attuare il processo di calcinazione del caolino [2].

L'influenza dell'utilizzo di soluzioni alcaline attivanti a base di  $K^+$  o  $Na^+$  non è indifferente, in termini di velocità di reazione, utili nel caso di utilizzo sul campo per sistemi a presa rapida, si prediligono soluzioni a base di  $K^+$ , mentre nel caso di studi di laboratorio è stato riscontrato quasi sempre l'utilizzo di ioni  $Na^+$ .

Anche la temperatura di cottura è una variabile da non trascurare per ottenere eccellenti risultati. In generale secondo quasi tutti gli studi effettuati, una cottura in forno a temperatura maggiore rispetto a quella ambiente favorisce la crescita della resistenza meccanica a breve termine, tuttavia occorre ricordare che non si devono superare i 90 °C – 100 °C altrimenti si producono zeoliti con resistenza nettamente inferiore. La maturazione a temperatura ambiente è possibile, tuttavia è più lenta rispetto a quella condotta in forno. Per questo gli studi più recenti hanno indagato le prestazioni di malte miste, ovvero contenenti anche componenti con capacità pozzolaniche come la loppa d'altoforno o la pozzolana, in grado di sviluppare calore a sufficienza per portare a termine la reazione in tempi brevi senza bisogno di cottura in forno.

Si presentano ora i principali risultati trovati in letteratura, a conferma di quanto precedentemente riportato.

In Figura 4.17 è possibile apprezzare l'andamento delle resistenze a compressione e a flessione di provini geopolimerici a base di solo metacaolino, ottenuti dagli studi di Pavel

Rovnanik in [39]. I rapporti molari utilizzati sono  $\text{Si}/\text{Al} = 3.0 - 3.8$ ,  $\text{K}/\text{Al} = 1$ ,  $\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O} = 1,39$  e  $\text{H}_2\text{O}/\text{M} = 10,40$ . Questa soluzione può essere adottata per gli usi più disparati, quali la prefabbricazione strutturale, la realizzazione di malte cementizie in sostituzione al cemento Portland da usare in situ, la riparazione ed il rinforzo di strutture in calcestruzzo armato [39].

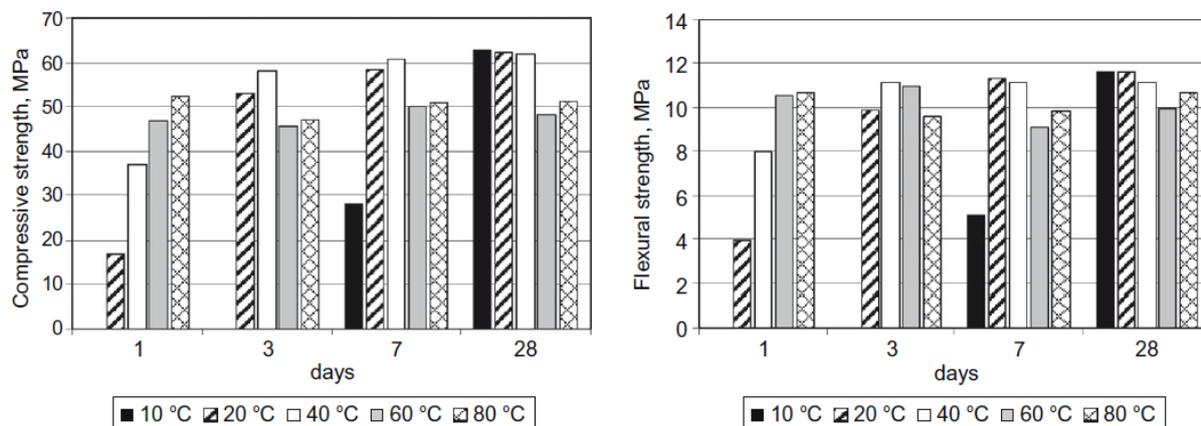


Figura 4.17 Sviluppo della resistenza a compressione e a flessione dei provini cotti per 4h a 10, 20, 40, 60 e 80 °C, test effettuati a 1, 3, 7 e 28 giorni [39].

In Figura 4.18 viene riportato l'andamento delle resistenze a compressione di provini geopolimerici a base di cenere volante, ottenuti dagli studi di Fantilli et al. I tre provini sono stati fatti maturare in forno a temperature variabili tra 60 e 90 °C per 24 - 72 ore. Il rapporto  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  utilizzato è pari a 2. La fase di maturazione in forno è necessaria per via dei tempi di stagionatura eccessivamente lunghi dei geopolimeri a base di sola cenere volante. Questa soluzione può essere adottata con ottimi risultati al campo della prefabbricazione strutturale [40].

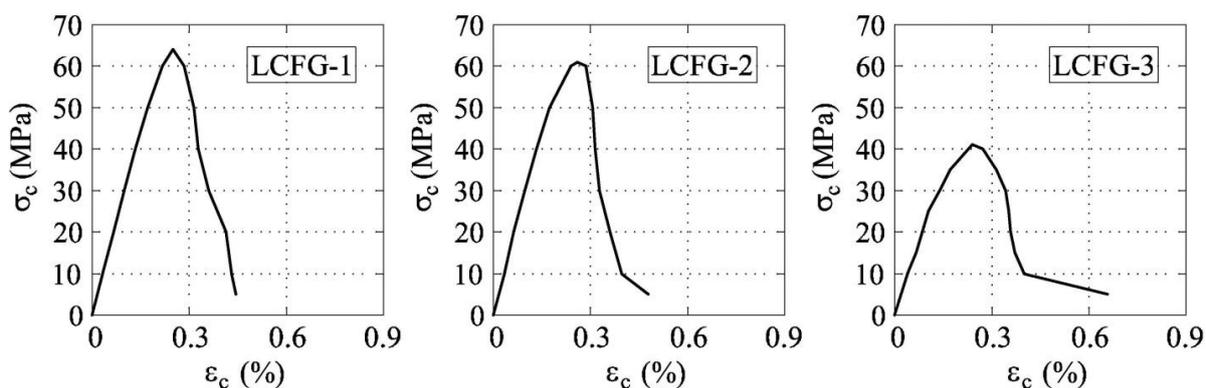


Figura 4.18 Curve tensione deformazione ottenute per tre calcestruzzi geopolimerici a base di cenere volante [40].

Infine in Figura 4.19 sono riportate le resistenze a compressione e flessione di differenti provini geopolimerici, ottenuti miscelando ceneri volanti e loppa d'alto forno in percentuali differenti. Le sigle 10s, 20s, 30s, 40s e 50s stanno ad indicare il rapporto percentuale di loppa contenuta nell'impasto rispetto al contenuto di cenere volante. Es: 10s, il 10% in peso di loppa e 90% di cenere volante. Il rapporto  $\text{Si}/\text{Al}$  è variabile a seconda delle miscele, mentre il rapporto molare della soluzione alcalina  $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$  è stata tenuta costante a 2,23 [41]. Con questo tipo di miscele, come già precisato nei paragrafi precedenti, non è necessaria la cottura in forno, poiché l'introduzione delle GGBS genera

## 4 Geopolimeri

una reazione esotermica capace di fornire il calore necessario per far progredire la reazione di geopolimerizzazione in tempi accettabili per un utilizzo sul campo. Pertanto la seguente miscela è facilmente impiegabile in sostituzione ai tradizionali usi del cemento Portland.

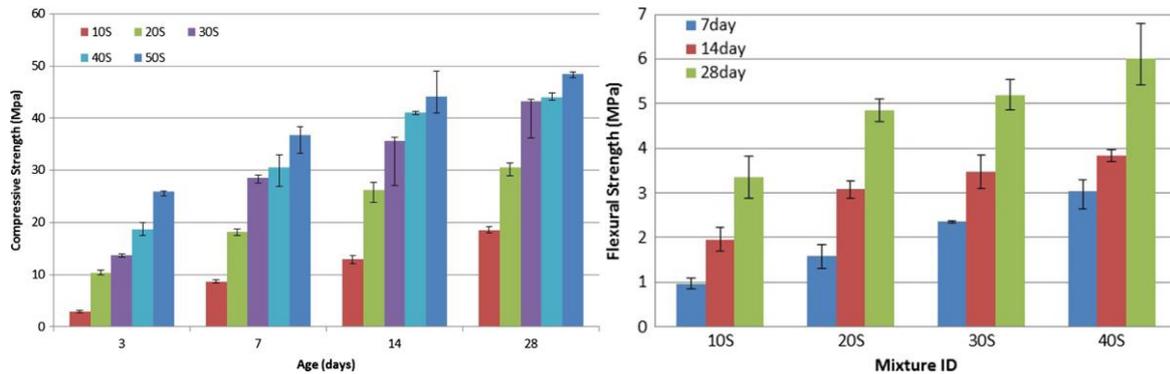


Figura 4.19 Variazione delle prestazioni meccaniche nel tempo al variare del contenuto percentuale di loppa d'alto forno per provini geopolimerici a base di cenere volante [41].

### 4.5.2 Prestazioni termiche dei geopolimeri

Come specificato nel paragrafo 4.2 i geopolimeri nascono a seguito degli studi di Davidovits per essere utilizzati come materiali antincendio, in sostituzione alle resine polimeriche. Le eccellenti qualità refrattarie di questo materiale sono riconducibili alla sua struttura chimica.

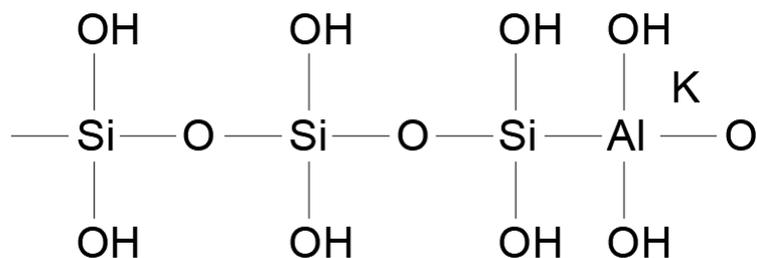


Figura 4.20 Struttura chimica di un geopolimero, rielaborazione personale di [2].

Osservando la Figura 4.20 si nota che a differenza del cemento Portland i geopolimeri non posseggono molecole d'acqua legate al reticolo finale, ma solo ioni ossidrilici OH<sup>-</sup>. Infatti le molecole di acqua contenute nel gel C-S-H a temperature intorno ai 300 – 400 °C tendono ad evaporare, generando quindi fessurazioni del materiale e conseguente collasso strutturale dello stesso. Nel caso dei geopolimeri si osserva invece la perdita di ioni ossidrilici, che avviene tuttavia a temperature maggiori di 1000 °C, portando anche una modifica irreversibile a livello strutturale. È stato inoltre studiato che per usi refrattari è conveniente l'utilizzo di geopolimeri attivati mediante potassio piuttosto che sodio, arrivando a temperature di 1300 – 1400 °C [2]. Queste caratteristiche in campo strutturale possono essere sfruttate in combinazione a fibre di rinforzo, generando quindi un materiale composito ad elevata resistenza meccanica ed al fuoco.

## 4.6 Possibilità di impiego dei geopolimeri nell'industria delle costruzioni

Il successo di un prodotto è generalmente funzione delle prestazioni offerte nel campo di utilizzo, del rapporto qualità prezzo, dall'impatto ambientale, della versatilità, dalla possibilità di produzione in serie, dal livello di conoscenza raggiunto, oltre alla sua compatibilità con i materiali esistenti. Tali requisiti sono applicabili anche nell'industria delle costruzioni.

I geopolimeri allo stato attuale della ricerca sono in grado di soddisfare buona parte di questi requisiti. Infatti grazie alla loro notevole versatilità produttiva è possibile creare prodotti aventi prestazioni opportunamente calibrate nei confronti di qualsiasi applicazione. Queste potenzialità derivano anche dalla possibilità di produzione a partire da un gran numero di materie prime come spiegato in 4.3, dotate tra l'altro di tale appellativo anche se non lo sono, poiché generalmente si tratta di materiali di scarto industriali. Le possibili applicazioni in campo civile – edile possono essere le seguenti:

- Produzione di calcestruzzi geopolimerici in sostituzione al tradizionale calcestruzzo basato sull'utilizzo del cemento Portland come legante 4.5.1.
- Produzione di elementi prefabbricati sia strutturali che non, utilizzando materie prime di scarto quali ceneri volanti, loppa d'altoforno 4.5.1. ecc.
- Produzione di ceramiche a basso impatto energetico.
- Utilizzo nel campo della riparazione, riabilitazione e rinforzo strutturale, nonché nel ripristino anche non strutturale di elementi di gran pregio architettonico
- Produzione di materiali refrattari e termoisolanti

Il quadro così delineato rappresenta soltanto una parte dei possibili utilizzi dei geopolimeri, infatti possono essere impiegati come materiale inertizzante per rifiuti radioattivi, per la produzione di ceramiche high tech da utilizzarsi in campo biomedicale, in accoppiata a fibre di carbonio è utilizzato sia in aeronautica che nel campo dell'automotive per la produzione di materiali leggeri dotati di alte prestazioni meccaniche e termiche [4]. Non va inoltre dimenticato che dal punto di vista ambientale, a patto di adottare le giuste formulazioni, può essere un degno sostituto del cemento Portland. Infatti per la produzione di 1 tonnellata di cemento Portland vengono prodotte circa 0,87 tonnellate di CO<sub>2</sub>, a fronte delle 0,16 derivanti dalla produzione di geopolimeri a partire da ceneri volanti, con una riduzione dell'80% delle emissioni [2-40-8]. Non mancano tuttavia gli svantaggi nell'impiego di questo materiale innovativo, soprattutto derivanti dal fatto che le conoscenze necessarie per ottenere un risultato soddisfacente sono necessariamente alte e legate alla perfetta conoscenza del comportamento chimico delle componenti al variare delle specie in gioco. L'obiettivo attuale della ricerca, oltre che testarne il comportamento in esercizio è quello di creare miscele pronte all'uso, (just add water) che possano favorirne l'utilizzo direttamente in situ come avviene nel caso delle comuni malte cementizie ad oggi adottate.

Un'altra causa che rappresenta uno dei motivi della, fino ad ora, assente commercializzazione dei geopolimeri in ambito strutturale è la necessità di standards,

come per altro rimarcato in [18], tuttavia non mancano le iniziative pionieristiche di utilizzo nel mondo. Uno dei paesi in cui si sta fortemente affermando l'utilizzo dei geopolimeri è l'Australia, un esempio tra tanti è rappresentato dal sistema innovativo di costruzione adottato per il Global Change Institute, a Brisbane, un modello ben riuscito di progettazione integrata, affiancata da un lavoro sperimentale e di test condotti per definire al meglio le caratteristiche necessarie della malta geopolimerica utilizzata per la prefabbricazione dei solai dell'edificio [42]. Con tale applicazione i geopolimeri hanno soddisfatto tutti i requisiti della normativa Australiana AS 3600 che definisce al pari delle NTC 2008 al §4.1 i requisiti e le modalità di calcolo delle strutture in conglomerato cementizio armato, dimostrando quindi la reale possibilità di impiego con successo di questo innovativo materiale.

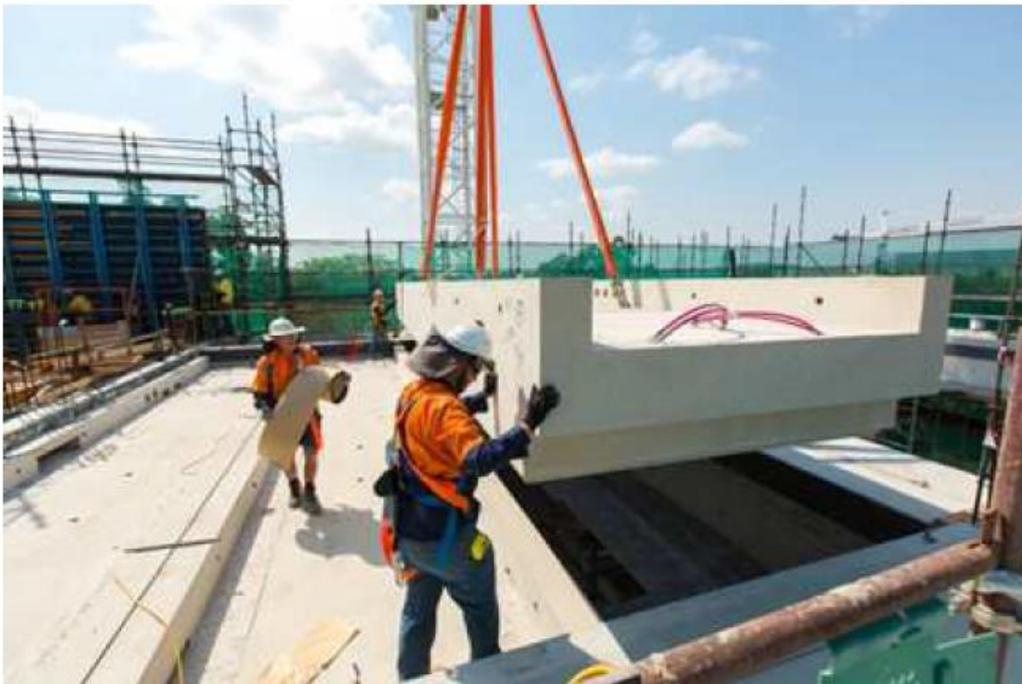


Figura 4.21 Montaggio del solaio prefabbricato geopolimerico [42]

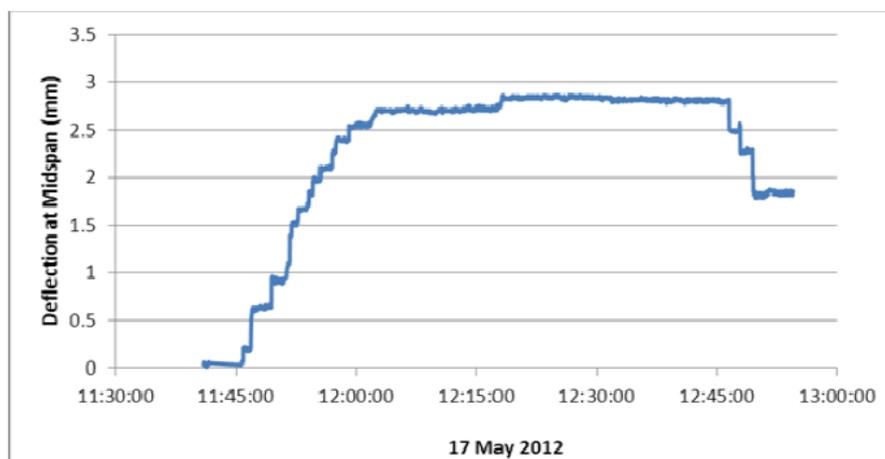


Figura 4.22 Prova di carico del solaio geopolimerico prefabbricato [42]

## 4.7 Bibliografia

- [1] J.L. Provis, J.S.J. van Deventer. "Geopolymers: structures, processing, properties and industrial application", Edit. Woodhead, Publishing Ltd. And CRC Press LLC, ISBN: 978-1-84569-449-4 (2009).
- [2] Cristina Leonelli, Marcello Romagnoli. "Geopolimeri, polimeri inorganici chimicamente attivati", seconda edizione, I.Cer.S., Lulu.com, ISBN: 978-1-291-63965-0, Bologna 2013.
- [3] R. Mondarelli, A. Largo, L. Pascali. "I geopolimeri: "ritorno al passato o salto nel futuro"", Ingegno n.24, luglio 2014.
- [4] J. Davidovits. "30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs", Geopolymer 2002 Conference, October 28-29, Melbourne, Australia 2002.
- [5] [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org)
- [6] J. Davidovits, (2015), False Values on CO2 Emission For Geopolymer Cement/Concrete published In Scientific Papers, Technical Paper #24, Geopolymer Institute Library, [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org).
- [7] Jannie S. J. van Deventer, John L. Provis, Peter Duxson, David G. Brice. "Chemical Research and Climate Change as Drivers in the Commercial Adoption of Alkali Activated Materials". Waste Biomass Valor. (2010). Vol. 1: pp. 145-155
- [8] J. Davidovits, (2013), Geopolymer cement a review, Technical Paper #21, Geopolymer Institute Library, [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org).
- [9] [www.treccani.it](http://www.treccani.it)
- [10] Chiara Leonardi, Sviluppo di nuovi materiali geopolimerici per l'applicazione nel settore dei beni culturali. Rel. Angelo Vaccari. Co-Rel. Bruno Fabbri, Sabrina Gualtieri. Alma Master Studiorum – Università di Bologna, corso di laurea magistrale in chimica industriale, 2010.
- [11] V. Medri, S. Fabbri, J. Dedecek, Z. Sobalik, Z. Tvaruzkova, A. Vaccari. "Role of the morphology and the dehydroxylation of metakaolins on geopolymerization". Appl. Clay Sci. (2010). Vol. 50: pp. 538-45.
- [12] [www.pmetlabservices.com](http://www.pmetlabservices.com).
- [13] T. Hemalatha, Ananth Ramaswamy. "A review on fly ash characteristics e Towards promoting high volume utilization in developing sustainable concrete". Journal of Cleaner Production (2017). Vol. 147: pp. 546-559.
- [14] Z.T. Yao, X.S. J, P.K. Sarker, J.H. Tang, L.Q. Ge, M.S. Xia, Y.Q. Xi. "A comprehensive review on the applications of coal fly ash". Earth-Science Reviews (2015). Vol. 141: pp. 105-121.

- [15] M.C. Bignozzi. "Geopolimeri e cementi: due materiali a confronto". *Ceramica informazione* (2007). Vol. 480: pp. 411-414.
- [16] [www.euroslag.org](http://www.euroslag.org).
- [17] Mohammed Haloob Al-Majidi, Andreas Lampropoulos, Andrew Cundy, Steve Meikle. "Development of geopolymer mortar under ambient temperature for in situ applications". *Construction and Building Materials* (2016). Vol. 120: pp. 198-211.
- [18] J. Davidovits, M. Izquierdo, X. Querol, D. Antennuci, H. Nugteren, V. Butselaar-Orthlieb, C. Fernández-Pereira, Y. Luna. "The European Research Project GEOASH: Geopolymer Cement based on European Coal Fly Ashes". Technical Paper #22, Geopolymer Institute Library, 2014.
- [19] [www.archeoflegrei.it](http://www.archeoflegrei.it)
- [20] M. Antonietta De Paola, Beatrice De Rosa. Newsletter dell'Associazione Forum Italiano Calce - 1/09 - febbraio 2009
- [30] Mario Collepari. "Scienza e tecnologia del calcestruzzo", terza edizione, Hoepli, ISBN: 8820319101, Milano 1992.
- [31] Allahverdi, A., Mehrpour, K. & Kani, E., 2008. Taftan pozzolan-based geopolymer cement. *IUST International Journal of Engineering Science*, 19(3), 1-5.
- [32] [www.geminati.it](http://www.geminati.it)
- [33] Jian He, Yuxin Jie, Jianhong Zhang, Yuzhen Yu, Guoping Zhang. "Synthesis and characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymer composites". *Cement & Concrete Composites* (2013). Vol. 37: pp. 108-118.
- [34] [www.treccani.it](http://www.treccani.it)
- [35] D. Mombelli, C. Mapelli, C. Di Cecca, S. Barella, A. Gruttadauria. "Riduzione di fanghi rossi d'allumina mediante fanghi d'altoforno per la produzione di ghisa", Associazione italiana di metallurgia, novembre 2016.
- [36] Fernando Pacheco-Torgal, Joao Labrincha, C. Leonelli, A. Palomo, P. Chindaprasit. "Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes" Edit. Woodhead, Publishing, ISBN: 9781782422761 (2014).
- [37] Caijun Shi, Della Roy, Pavel Krivenko. "Alkali-Activated Cements and Concretes" Edit. CRC Press, Publishing, ISBN: 978-0415700047 (2005).
- [38] Peter Duxson, John L. Provis, Grant C. Lukey, Seth W. Mallicoat, Waltraud M. Kriven, Jannie S.J. van Deventer. "Understanding the relationship between geopolymer composition, microstructure and mechanical properties". *Colloids and Surfaces A* (2005). Vol. 269: pp. 47-58.
- [39] Pavel Rovnanik. "Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer". *Construction and Building Materials* (2010). Vol. 24: pp. 1176-1183.

- [40] Alessandro Pasquale Fantilli, Bernardino Chiaia, Fabio Pittarello. "Le strutture realizzate con calcestruzzo geopolimerico". Giornate AICAP 2014. Bergamo, pp. 161-168.
- [41] Mohammed Haloob Al-Majidi, Andreas Lampropoulos, Andrew Cundy, Steve Meikle. "Development of geopolymer mortar under ambient temperature for in situ applications". Construction and Building Materials (2016). Vol. 120: pp. 198-211.
- [42] Rod Bligh, Tom Glasby. "Development of geopolymer precast floor panels for the global change institute at university of queensland". Proceedings Concrete Institute of Australia Biennial Conference, Concrete 2013. Understanding Concrete, Gold Coast, Australia.

## 5 Proposte innovative di intervento

### 5.1 Il rinforzo strutturale proposto per il caso studio

Nel paragrafo 4.6 sono state illustrate le possibilità di applicazione dei geopolimeri in ambito civile–edile, con particolare riferimento alle applicazioni più comuni del mondo dell’edilizia, cioè legate alle nuove costruzioni. Nel seguente paragrafo invece, viene proposto un sistema innovativo di impiego dei geopolimeri, con l’obiettivo di migliorare il comportamento meccanico delle componenti più fragili del caso studio presentato al capitolo 3.

Il salone C del complesso di Torino Esposizioni può essere considerato un esempio ben riuscito di impiego di materiali e tecniche innovative per l’epoca della sua costruzione, basti pensare al ferrocemento di cui sono composti i tavelloni in copertura, per non parlare della tecnica di prefabbricazione che ha permesso la costruzione dello stesso in un tempo estremamente ridotto per le tecnologie a disposizione dell’epoca. In un edificio così carico di innovazione l’intervento proposto per il rinforzo degli elementi più deboli, non può che essere a sua volta carico di aspetti innovativi. A tal fine è stato portato a compimento un vasto stato dell’arte sui geopolimeri nel cap. 4, con l’obiettivo di cercare una soluzione che ben si adattasse a tale compito.

Nel campo della riabilitazione, rinforzo e ripristino strutturale, anche se ormai in uso da molti anni, le tecniche di rinforzo basate sull’uso di fibre rinforzanti rappresentano ancora un argomento in parte inesplorato [1]. Le possibilità di utilizzo sono molteplici, tuttavia occorre ricordare che le soluzioni di intervento vanno appositamente studiate caso per caso, cercando di individuare le tecniche e le modalità di posa in opera migliori. Prima ancora di parlare delle modalità di intervento è bene fare chiarezza sulle tipologie di compositi impiegati, i quali posso essere così elencati:

- Sistemi FRP (Fiber Reinforced Polymers). Di tale tipologia di rinforzo fanno parte tutti i sistemi dove le fibre rinforzanti, di qualsiasi natura esse siano sono impregnate in una matrice organica. Tra le fibre di rinforzo maggiormente utilizzate e commercializzate troviamo la fibra di carbonio, la fibra di vetro e la fibra di basalto, le quali a seconda dei casi possono essere unidirezionali, bidirezionali, quadriassiali ecc. Perciò nel caso venga utilizzata la fibra di carbonio si parla di CFRP, nel caso della fibra di vetro di GFRP e per finire BFRP nel caso di utilizzo di fibre di basalto [1].
- Sistemi SRP (Steel Reinforced Polymers). Nel seguente caso fanno parte di tale categoria tutti i sistemi in cui la fibra di rinforzo è costituita da un tessuto, generalmente uniassiale, di acciaio, mentre la matrice è nella maggior parte dei casi di tipo polimerico [1].
- Sistemi FRG (Fiber Reinforced Grouts). A quest’ultima categoria appartengono tutte le soluzioni in cui, indipendentemente dalla tipologia di rinforzo, la matrice è di tipo inorganico ovvero costituita da malte cementizie [1]. Per quest’ultima

categoria nella maggior parte dei casi vengono utilizzate reti di rinforzo piuttosto che di tessuti, per favorire un migliore “aggrappo” della malta al rinforzo.

La prima categoria elencata presenta in genere due svantaggi, il primo è connesso alla elevata maestria richiesta agli operatori per la corretta ed efficace posa in opera del rinforzo. Il secondo svantaggio è invece rappresentato dalla presenza di una matrice polimerica, la quale presenta un comportamento ad alte temperature molto poco performante. In genere si verifica un calo della resistenza meccanica già a 80-100°C. Tale problema non è in genere ovviato utilizzando le comuni malte cementizie, poiché a causa dell’acqua presente nei pori tendono facilmente a scoppiare. La vera innovazione sta quindi nella sostituzione di tali malte con impasti di tipo geopolimerico, che come argomentato in 4.5.2 sono in grado di offrire ottime prestazioni anche ad elevate temperature. Molti studi per un possibile impiego dei geopolimeri come matrice rinforzante accoppiata sia a fibre di carbonio che a reti metalliche sono stati condotti [2-3-4]. J. Davidovits in [4], propone per la prima volta un sistema di rinforzo basato sull’uso di fibre di carbonio e di una malta geopolimerica, ottenendo eccellenti risultati, come dimostrato in Figura 5.1.

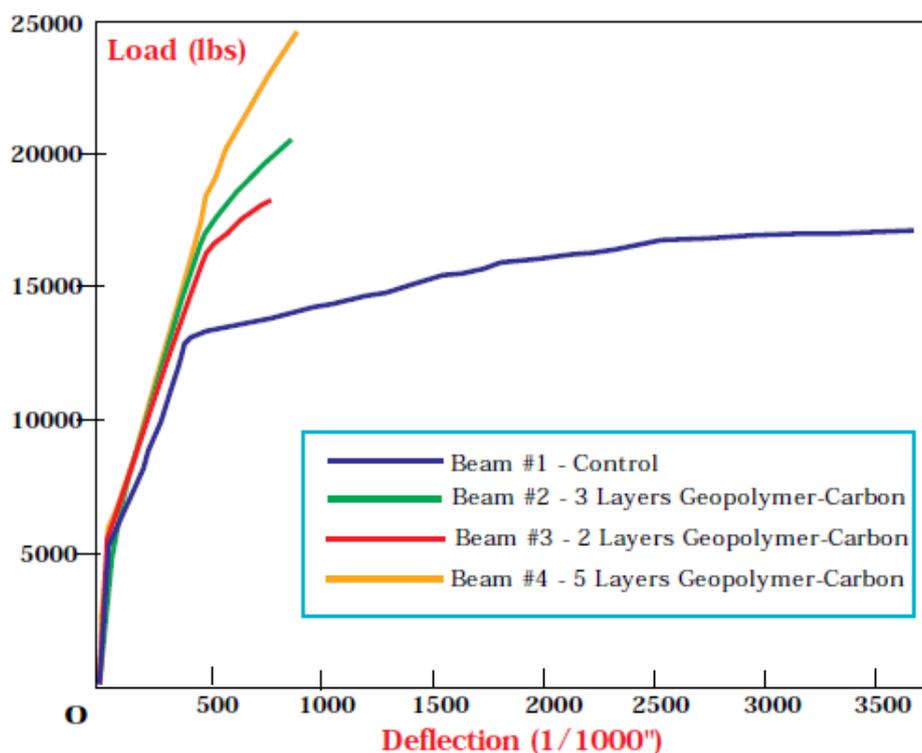


Figura 5.1 Risultati delle prove di carico a flessione semplice condotte in [10] per una trave in calcestruzzo armato rinforzata a flessione con un numero variabile di strati di fibre di carbonio.

Nonostante l’eccellente risultato ottenuto, i più recenti studi [2-3] hanno posto l’accento sul fatto che le fibre di carbonio per poter essere utilizzate in accoppiata ai geopolimeri vanno opportunamente progettate. Infatti l’adesione tra queste due componenti, come dimostrato in [3] da micrografie SEM, risulta essere piuttosto scarsa, a differenza di quanto accade tra geopolimeri ed acciaio. Questo accade soprattutto nel caso in cui vengano utilizzate le comuni fibre di carbonio progettate per essere utilizzate con matrici polimeriche organiche. Per un efficace utilizzo delle stesse con malte geopolimeriche

occorre progettate la tessitura delle fibre opportunamente, cioè predisponendo spaziature più elevate della maglia, per favorire un ottimale aggrappo della malta che a causa della sua differenza di viscosità rispetto a quella polimerica non è in grado di insinuarsi nelle spaziature più strette. Tali problemi come già rimarcato, non si presentano nel caso di utilizzo di reti di rinforzo in acciaio, come dimostrato in [2]. In definitiva volendo impiegare prodotti attualmente in commercio, per limitare al minimo il lavoro di progettazione – sperimentazione a carico del progettista, la soluzione migliore è rappresentata dall'accoppiata reti di acciaio (solitamente unidirezionali) e malte geopolimeriche. Lo stesso non si può dire per quanto riguarda la formulazione del geopolimero, come rimarcato nel §4.6, i geopolimeri possono essere prodotti da un gran numero di polveri reattive, un mix design prestabilito come nel caso del calcestruzzo non è ancora stato approntato. Negli studi [2-3-4] vengono infatti usate tre formulazioni differenti, a causa della variabilità delle materie prime. Tuttavia in tutti e tre i casi le malte prodotte hanno dato ottimi risultati, rispondendo innanzi tutto al requisito fondamentale della maturazione a temperatura ambiente. Questo fatto è imprescindibile, poiché non è possibile cuocere in forno parti di strutture esistenti. Tra le formulazioni testate i migliori risultati in termini di resistenza meccanica delle malte sono stati raggiunti dalle formule basate sull'uso di metacaolino, piuttosto che quelle basate sulle ceneri volanti. In ogni caso le resistenze minime per la tipologia di applicazione a cui sono destinate tali malte sono state raggiunte con successo, come dimostrato in Figura 5.2 e in Figura 5.3.

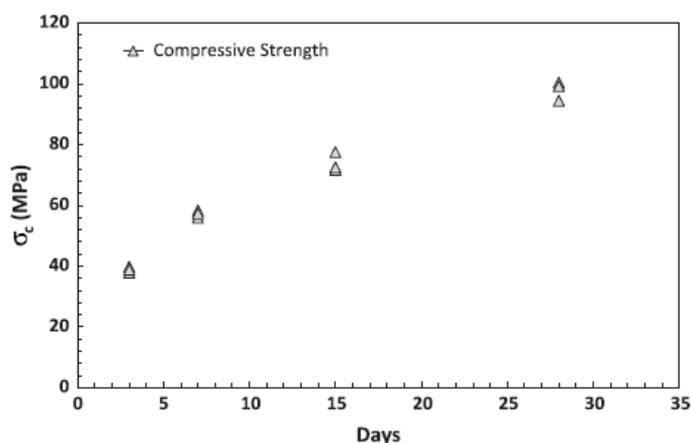


Figura 5.2 Andamento della resistenza a compressione della matrice geopolimerica a base di metacaolino [3].

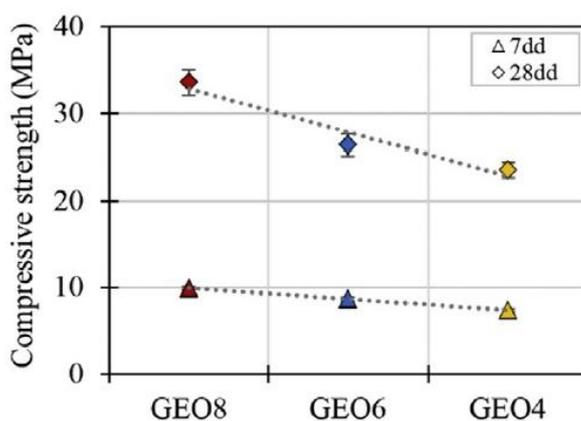


Figura 5.3 Andamento della resistenza a compressione della matrice geopolimerica a base di ceneri volanti [2]

Per quanto riguarda le reti metalliche di rinforzo, è possibile reperire molti prodotti in commercio appartenenti alla tecnologia consolidata degli SRG e SRP, nel caso seguente viene proposta la stessa soluzione riportata in [3]. Si tratta di un prodotto commerciale dal nome MapeWrap S Fabric, dotato delle seguenti caratteristiche [5]:

*“Tessuto unidirezionale in fibre di acciaio galvanizzato ad alta resistenza per il rinforzo strutturale [...] il tessuto è idoneo per la riparazione di elementi in cemento armato danneggiati da azioni fisico-meccaniche, per il rinforzo a taglio e a flessione di elementi in calcestruzzo o in muratura e per l’adeguamento sismico di strutture poste in zone a rischio [...] dati tecnici:*

- *tipo di fibra: fibre in acciaio galvanizzato*
- *grammatura (solo fibre metalliche): 650 g/m<sup>2</sup>*
- *area resistente per unità di larghezza: 97,405 mm<sup>2</sup>/m*
- *resistenza a trazione: > 2580 N/mm<sup>2</sup>*
- *modulo elastico a trazione: 200.000 N/mm<sup>2</sup>*
- *allungamento a rottura: 1,29 %*
- *larghezza: 40 cm*
- *confezioni: rotoli da 50 m [5].”*

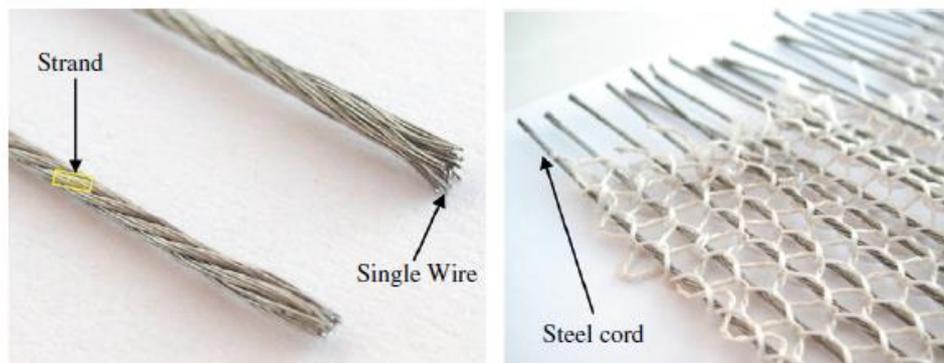


Figura 5.4 Rinforzo in acciaio MapeWrap S Fabric [9-11]

Definita la tecnologia del rinforzo, ovvero un sistema di rinforzo qui coniato come SRGG (Steel Reinforced Geopolymer Grouts) occorre ora definire le modalità applicative dello stesso, al fine di andare ad intervenire in modo mirato sul deficit riscontrato durante le analisi condotte in 3.9. In particolar modo per il caso studio, occorre rinforzare la base e la mezzera degli arconi nei confronti della sollecitazione di taglio, a causa dell’insufficiente staffatura presente in tali membrature.

### 5.1.1 Descrizione delle modalità di intervento

Ancor prima di attuare l’intervento sul caso studio, come per qualsiasi altra struttura sottoposta a questo tipo di lavoro va appurata la presenza di alcuni requisiti base, che in caso di assenza possono compromettere l’efficacia del rinforzo. Tali requisiti sono stabiliti dalla normativa preposta ovvero la CNR-DT 200 [6] che tuttavia regola soltanto l’impiego di matrici inorganiche (polimeriche) e fibre di carbonio. L’utilizzo di matrici a base

cementizia e di fibre rinforzanti di acciaio non è quindi direttamente regolato da tale norma, si fanno però alcune precisazioni a riguardo. Infatti l'utilizzo di soluzioni non normate è possibile, purché si dimostri che l'intervento eseguito raggiunga un livello di efficacia almeno pari a quello che si otterrebbe utilizzando i materiali normati. Anche nelle NTC08 al cap. 12 viene sollevata tale questione, sottolineando che un possibile utilizzo di tali soluzioni debba far riferimento a documenti di comprovata validità [7]. Quanto appena riscontrato non fa altro che sottolineare l'importanza del progredire della ricerca, soprattutto nel campo delle applicazioni pratiche dei geopolimeri. Nonostante l'intervento proposto non sia normato dalla CNR-DT 200, è possibile quindi migrare le conoscenze e i requisiti contenuti in tale norme al caso oggetto di studio.

L'edificio deve essere staticamente in equilibrio, nel caso si riscontri la presenza di lesioni, va opportunamente valutato il grado di reversibilità delle stesse, infatti nei casi più gravi l'intervento di rinforzo è da evitare, prediligendo piuttosto la sostituzione dell'elemento portante. La struttura deve quindi trovarsi in buona salute o al più danneggiata reversibilmente. Va condotta un'opportuna campagna di indagine sulla reale resistenza meccanica offerta dai materiali costituenti gli elementi da rinforzare, effettuando prove sia distruttive che non in laboratorio e in sito. Nello specifico degli edifici in calcestruzzo armato, soprattutto quelli più datati della quella si hanno a disposizione ben poche informazioni, le sezioni da rinforzare vanno opportunamente censite, andando a verificare il reale numero e diametro dei ferri impiegati nonché delle capacità resistenti residue di calcestruzzo e acciaio, valutandone quindi anche il grado di deterioramento dovuto all'invecchiamento. L'efficacia del rinforzo è affidata al grado di adesione della malta alla superficie dell'elemento da rinforzare, perciò occorre preventivamente effettuare un'accurata pulizia del supporto, al fine di garantire un opportuno trasferimento dei carichi al rinforzo. Occorre quindi prestare molta attenzione allo stato di avanzamento della carbonatazione del calcestruzzo, il quale può pregiudicare la salute delle armature che a loro volta aumentano di volume a causa dell'arrugginimento, creando piani di scivolamento e rendono il rinforzo totalmente inefficace. In tal caso occorre effettuare un ripristino corticale con opportune malte rispondenti alle specifiche della UNI EN 1504-3. Gli spigoli vivi vanno opportunamente arrotondati, fino ad avere un raggio di curvatura tale da scongiurare una possibile rottura prematura per taglio, nel caso di rinforzo con fibre d'acciaio dato lo spesso in gioco più elevato rispetto al caso dei tessuti in fibra di carbonio vanno predisposti spigoli con raggio di curvatura di 3 cm. Le asperità vanno opportunamente livellate, le superficie pronte per l'applicazione del rinforzo devono essere pulite, va quindi rimosso un eventuale strato polverulento. Dal punto di vista della gestione del cantiere e della sicurezza, si raccomanda l'uso dei sistemi di protezione opportuni, quali guanti e maschere protettive per le vie respiratorie. Il cantiere deve essere quanto più pulito possibile per scongiurare l'inopportuna e accidentale presenza di impurità nel rinforzo [1-6].

In Allegati D sono presentate schematicamente le modalità di rinforzo a taglio degli arconi inclinati in calcestruzzo armato del Padiglione C. L'intervento consiste in una fasciatura dell'elemento strutturale con fibre unidirezionali di acciaio, fissate mediante matrice geopolimerica. Una opportuna fase di calcolo per il dimensionamento delle stesse è quantomeno necessaria, tuttavia non è stata espletata in tale lavoro, con il quale ci si limita alla proposta della tipologia di intervento. È opportuno ricordare però che le regole

pratiche di sovrapposizione degli strati, la metodologia di posa in opera piuttosto che gli strati funzionali costituenti sono sempre e comunque validi per un qualsivoglia intervento di rinforzo basato sulla tecnologia SRG.

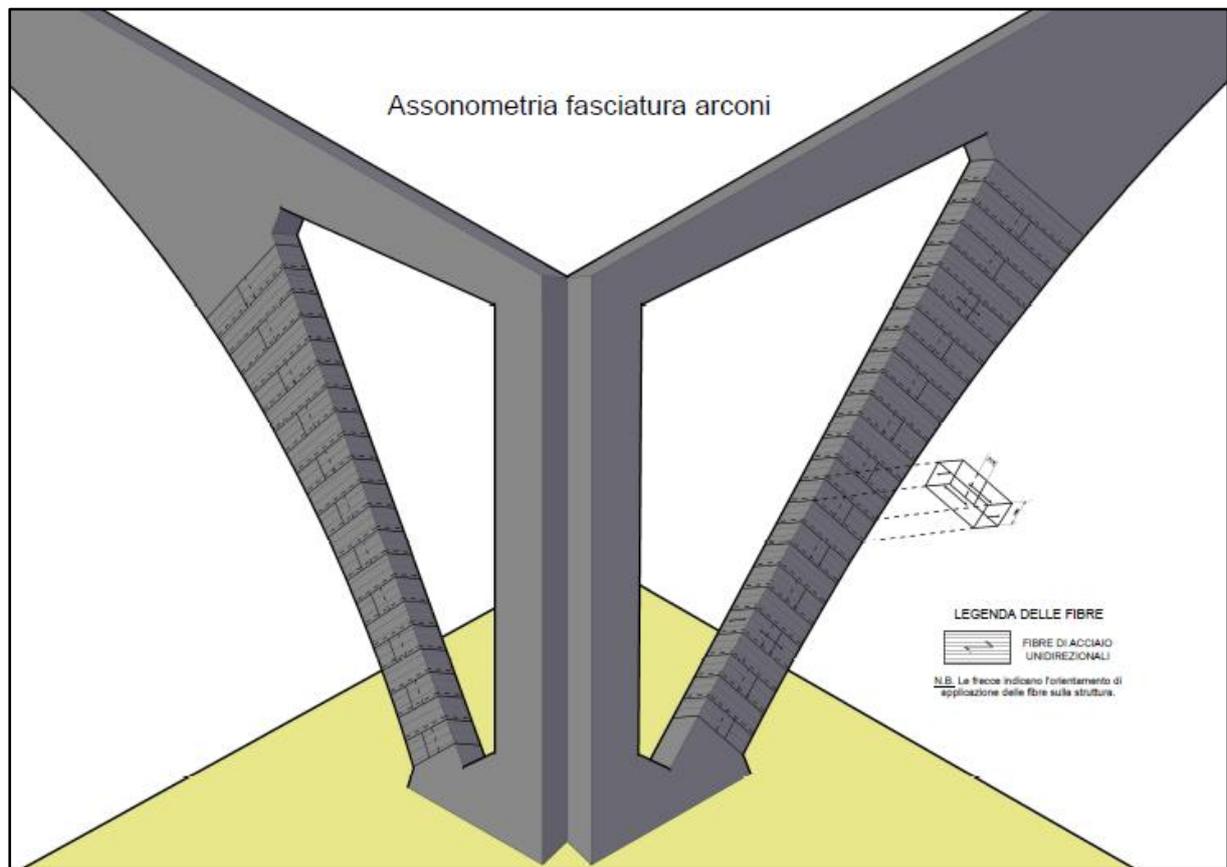


Figura 5.5 Schema dell'intervento proposto sugli arconi, per un maggiore dettaglio si faccia riferimento alla tavola 2 (Allegati C).

## 5.2 Bibliografia

- [1] Salvatore Lombardo, Tiziana Chiofalo. “Manuale del rinforzo strutturale, guida all’adeguamento sismico con sistemi compositi e tecniche tradizionali”. Dario Flaccovio Editore, ISBN: 978-88-579-0337-8, Palermo 2014.
- [2] Lorenza Carabba, Mattia Santandrea, Christian Carloni, Stefania Manzi, Maria Chiara Bignozzi. “Steel fiber reinforced geopolymer matrix (S-FRGM) composites applied to reinforced concrete structures for strengthening applications: A preliminary study”. *Composites: Part B* (2017) Vol. 128: pp. 83-90.
- [3] Costantino Menna, Domenico Asprone, Claudio Ferone, Francesco Colangelo, Alberto Balsamo, Andrea Prota, Raffaele Cioffi, Gaetano Manfredi. “Use of geopolymers for composite external reinforcement of RC members”. *Composites: Part B* (2013) Vol.45: pp. 1667–1676.
- [4] J. Davidovits. “Geopolymer for repair and rehabilitation of reinforced concrete beams”. Technical Paper (2017), Geopolymer Institute Library, [www.geopolymer.org](http://www.geopolymer.org).
- [5] [www.mapei.com](http://www.mapei.com)
- [6] CNR-DT 200/2004 ed. R1 (2012), Istruzioni per la progettazione, l’Esecuzione ed il Consolidamento di Interventi di Consolidamento Statico mediante l’utilizzo di Compositi Fibrorinforzati (Materiali, Strutture di c.a. e di c.a.p., Strutture Murarie).
- [7] D.M. 14 gennaio 2008 n. 29, “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

## 6 Conclusioni

La presente tesi ha avuto come finalità l'individuazione delle criticità strutturali del Salone C di Torino Esposizioni, realizzato da Pier Luigi Nervi nel 1949-50. Il Salone fa parte del patrimonio architettonico della Città di Torino e presenta delle complessità strutturali che ne influenzano la risposta dinamica. Al fine di recuperare e riutilizzare queste strutture (attualmente in disuso) è necessario procedere ad un'analisi approfondita dell'edificio con l'intento di determinare la concezione strutturale e la filosofia costruttiva adottata. In questa fase sono stati analizzati gli elaborati grafici e gli scritti originali, che spesso, purtroppo si sono rilevati lacunosi o andati persi. Queste lacune sono state opportunamente tenute in considerazione in fase di calcolo, attraverso l'opportuno utilizzo dei fattori di sicurezza.

In una seconda fase è stata analizzata la risposta dinamica del Salone, che ha permesso di individuare le maggiori criticità dovute alle complessità spaziali caratteristiche delle sperimentazioni del progettista. Infatti, a differenza degli ordinari edifici multipiano, non si riscontra la presenza di un modo dominante, ma piuttosto quella di molti modi locali che vanno ad attivare una bassa percentuale di massa. In questo caso la scelta della metodologia di analisi più adatta, ai fini delle verifiche degli elementi strutturali, è l'analisi dinamica modale con spettro di risposta.

Al fine di individuare il comportamento nel modo più realistico possibile, è stato necessario coinvolgere un elevato numero di modi, anche aventi massa partecipante molto bassa. Come effetto collaterale si riscontra un notevole aumento dell'onere computazionale, di per sé già di molto maggiore rispetto ad un edificio ordinario.

Ai fini delle verifiche, l'assenza di una campagna di indagini ha fortemente condizionato la definizione dell'azione sismica, la quale è stata schematizzata secondo i criteri definiti dalla normativa: mediante spettri elastici, sia per quanto riguarda le azioni orizzontali che quelle verticali, ovvero ponendo il fattore di struttura  $q$  pari ad 1. Vale la pena sottolineare che anche conoscendo le reali proprietà dei materiali in gioco la determinazione del fattore di struttura non sarebbe stato immediato, poiché lo schema statico non rientra in quelli più comuni e quindi non è possibile applicare le indicazioni date dalla normativa. Una più corretta definizione di tale parametro, quindi, è subordinata ai risultati di opportune analisi pushover, a loro volta fortemente condizionate dalla complessa forma in esame.

Dall'analisi con spettri elastici è stata ottenuta la risposta della struttura in termini di sollecitazioni, la quale, opportunamente combinata statisticamente, è stata utilizzata per condurre le verifiche di resistenza delle zone maggiormente sollecitate. Sono stati quindi individuati i punti più critici, quali la base e la mezzeria degli arconi, le nervature principali della volta, i tavelloni in ferroceemento e i pilastri perimetrali della pensilina.

Tali elementi, nonostante sia stato utilizzato il fattore di confidenza massimo concepito da normativa per tenere in conto dell'assenza di indagini, risultano ben dimensionati nei confronti dei carichi verticali, inoltre si può apprezzare anche la corretta valutazione del progettista, il quale li aveva concepiti secondo la curva delle pressioni, sfruttando così

tutte le potenzialità in compressione del calcestruzzo. Dal punto di vista delle azioni orizzontali, è stata invece riscontrata la presenza di possibili meccanismi fragili, indotti dalla crisi per taglio sulle sezioni degli arconi sopra citate. In particolare, affinché la verifica risulti soddisfatta, la crisi deve essere raggiunta contemporaneamente per taglio-trazione e taglio-compressione, generando quindi una rottura duttile. Nei casi considerati le sezioni sono ben dimensionate per la parte in calcestruzzo, mentre presentano un deficit dal lato acciaio, a causa della staffatura insufficiente costituita da ferri sia di piccolo diametro (in alcuni casi costituita da  $\phi 5$  non più in commercio), che dall'eccessiva spaziatura adottata. Per quanto riguarda i pilastri perimetrali le verifiche risultano soddisfatte, anche per via del fatto che tali elementi non sono eccessivamente sollecitati, in quanto sorreggono una copertura di ridotto spessore e conseguentemente l'azione dinamica è ridotta data la bassa massa in gioco. Infine è stata affrontata la verifica degli elementi della copertura voltata: i tavelloni in ferrocemento risultano essere verificati, mentre le nervature principali, invece, sono state verificate solo a pressoflessione, poiché non sono stati reperiti disegni di progetto contenenti indicazioni sulla staffatura adottata.

Dai risultati delle analisi si può concludere che la struttura, nonostante la bassa intensità del sisma che caratterizza il territorio di Torino, presenta alcune criticità degli elementi resistenti, dovute sostanzialmente ai limiti delle metodologie di costruzione e di analisi di quel periodo.

In una seconda fase della tesi, in risposta alla necessità di predisporre un sistema di rinforzo per gli elementi non verificati è stata condotta una vasta campagna di ricerca su di un materiale innovativo, i geopolimeri. Il capitolo 4 riporta un approfondito stato dell'arte su questi materiali, al fine di comprenderne a fondo l'evoluzione storica, lo stato di avanzamento della ricerca, le caratteristiche fisico-meccaniche, le modalità di produzione, le problematiche e le possibilità future di impiego.

Le ricerche condotte nello stato dell'arte hanno messo in evidenza anche una diffusa confusione su questi materiali, dovuta principalmente alle differenti correnti di pensiero, nonché alla "corsa" alle scoperte che spesso porta a dare una denominazione differente allo stesso risultato. Basti pensare che attualmente non esiste neanche un modo condiviso sul nome corretto da attribuire a tale materiale (motivazione del titolo del paragrafo 4.1). Per questo, sulla base delle conoscenze a disposizione nell'ambito della chimica e della scienza dei materiali, si è cercato di dare un'interpretazione più critica possibile a riguardo, spesso facendo accostamenti, per analogia, con il calcestruzzo.

È comunque emerso che le possibilità di produzione e di impiego di questo materiale sono molto vaste; e la motivazione risiede nel fatto che i costituenti principali delle polveri, quali ossido di silicio ed allumina, sono presenti in abbondanza sia in natura che in un gran numero di prodotti di scarto derivanti dalle lavorazioni industriali. Infatti, gran parte delle ricerche sono state condotte su materiali quali ceneri volanti e loppa granulata d'altoforno opportunamente combinati. Data la natura delle polveri il problema principale è quello di creare un materiale standardizzato, ovvero, volendo guardare la questione dal punto di vista ingegneristico, produrre un materiale avente caratteristiche meccaniche ben definite, in analogia a quanto accade per il calcestruzzo. Questo è il principale ostacolo che il modo della ricerca sta affrontando, infatti, allo stato attuale

l'utilizzo di questo materiale è subordinato a conoscenze specialistiche che ne riducono fortemente le possibilità applicative. Scopo anche di tale ricerca è stato quello di maturare quanto più possibile un livello di conoscenza a riguardo, al fine di teorizzare, anche sulla base dei risultati sperimentali ottenuti da altri autori, l'utilizzo di questo materiale al fine di rinforzare le zone a maggior rischio della struttura. Per questo viene proposto un sistema basato sulla tecnologia SRG, accoppiando l'uso di fibre di acciaio galvanizzato ad alta resistenza, fissate mediante una malta geopolimerica.

Questo tipo di proposta, ben si inserisce nel contesto di questo edificio, già carico di elementi rivoluzionari per l'epoca della sua costruzione, andando così ad aggiungere un importante tassello innovatore che può aprire la strada all'utilizzo e alla comprensione di questo materiale.

## Ringraziamenti

Infine è arrivato il momento di tirare le somme di questo percorso di studi, appassionante, stressante, divertente ma anche e soprattutto soddisfacente. Finalmente sono arrivato a scrivere questa tanto agognata pagina, che rappresenta l'inizio della fine ed allo stesso tempo la fine di un nuovo inizio.

Doverosi ringraziamenti sono necessari nei confronti delle persone che hanno reso possibile questo lavoro e che mi sono state vicino durante tutto il percorso di studi.

Desidero quindi ringraziare innanzitutto il Professor Rosario Ceravolo, ideatore, consigliere e guida esperta di questa tesi, per avermi aperto la strada al mondo dei geopolimeri e per la grande opportunità concessami nell'analizzare una struttura così carica di storia. La Dottoressa Erica Lenticchia, nel ruolo di correlatrice, senza la sua vasta conoscenza delle architetture di P. L. Nervi questo lavoro si sarebbe fermato da tempo. Il Dottor Gaetano Miraglia, per il prezioso aiuto datomi nella fase di analisi, nonché per il supporto ogni volta che le cose si facevano più complicate.

Ringrazio il personale delle Biblioteche che mi hanno assistito durante le ricerche, in particolar modo la Signora Donella Cioffi, bibliotecaria del DIATI.

Un immancabile ringraziamento va alla mia famiglia, che mi ha concesso l'opportunità di avanzare ancora e ancora, sostenendomi, sopportandomi e supportandomi ogni giorno in questi lunghi anni di studio. Se sono arrivato fino a qui lo devo soprattutto a voi e questo risultato è mio quanto vostro. Grazie di cuore!

Vorrei infine ringraziare tutti gli amici e compagni di classe che mi sono stati vicini in questa fase finale, dissipando il mio pessimismo, confortandomi e talora spronarmi nel conseguimento di questo risultato.

Crosetti Giacomo

Dicembre 2017

# Allegati A

## Listato Ansys per effettuare l'analisi modale

! Entro nel solutore

FINISH

/SOLU

! Definisce il numero di modi da calcolare

NUMMOD=45

! Definisce l'analisi come modale (=2)

ANTYPE,2

! Opzioni dell'analisi modale e numero di modi da estrarre per l'analisi

MODOPT,LANB,NUMMOD,0,0,

! Numero modi da espandere e intervallo di frequenze da considerare

MXPAND,NUMMOD,0,0,

! Ulteriori opzioni: non considerare masse concentrate, e considera gli effetti di precompressione (se = 1)

LUMPM,0

PSTRES,0

! Estrazione risultati

outres,all,all

/output,risultati\_modale\_saloneC\_ConMuri,txt

! Risolve l'analisi modale

SOLVE

FINISH

/output

## Listato Ansys per l'estrazione degli autovettori

! Entro nel solutore

FINISH

/POST1

! La variabile i definisce il modo i-esimo da estrarre, lo script va rilanciato per tutti i modi  
! da estrarre

i=2

! Definisco il nome del file di output e la sua estensione

mfilpre = 'mode'

mfilpst = 'txt'

! Mi posizione all'ultimo modo e seleziono tutto

set,last

allsel

! Creazione di un vettore di 4 colonne per contenere le forme modali in X, Y e Z ed il  
! corrispondente numero di nodo

\*GET,lsbst,ACTIVE,,SET,SBST

/POST1

\*GET,mxnd,NODE,,NUM,MAX

\*DIM,igvct,,mxnd,4

\*DIM,nmsk,,mxnd

\*VFILL,igvct(1,1),RAMP,1,1

\*VGET,nmsk(1),NODE,1,NSEL

! Riempimento del vettore precedentemente creato

SET,1,i

\*GET,frq,ACTIVE,,SET,FREQ

\*VMASK,nmsk(1)

\*VGET,igvct(1,2),NODE,1,U,X

\*VMASK,nmsk(1)

\*VGET,igvct(1,3),NODE,1,U,Y

\*VMASK,nmsk(1)

Allegati A

\*VGET,igvct(1,4),NODE,1,U,Z

! Inizio creazione dell'output

\*CREATE,ansuitmp

\*CFOPEN,%mfilpre%%i%.%mfilpst%

\*VMASK,nmsk(1)

! Scrittura dell'output sul file txt

\*VWRITE,igvct(1,1),igvct(1,2),igvct(1,3),igvct(1,4),,,,,,

(G)

! Chiusura del file

\*CFCLOS

\*END

/INPUT,ansuitmp

## Listato Ansys per caricare gli spostamenti nodali

! Entro nel pre processore

FINISH

/PREP7

! Definisco 4 vettori vuoti con Nodmax righe e 1 colonna

Nodmax = 12636

\*DIM,Nod,ARRAY,Nodmax,1

\*DIM,DisX,ARRAY,Nodmax,1

\*DIM,DisY,ARRAY,Nodmax,1

\*DIM,DisZ,ARRAY,Nodmax,1

! Leggo i file txt contenenti gli spostamenti e li scrivo sui vettori definiti in precedenza

\*CREATE,ansuitmp

\*VREAD,Nod,'Nod','txt',' ',IJK,Nodmax,1,1,,

(E16.0)

\*VREAD,DisX,'DisX','txt',' ',IJK,Nodmax,1,1,,

(E16.0)

\*VREAD,DisY,'DisY','txt',' ',IJK,Nodmax,1,1,,

(E16.0)

\*VREAD,DisZ,'DisZ','txt',' ',IJK,Nodmax,1,1,,

(E16.0)

\*END

/INPUT,ansuitmp

! Attuo il caricamento dei nodi sulla struttura

\*DO,i,1,Nodmax,1

D,Nod(i),UX,DisX(i),,,,,,,,,

D,Nod(i),UY,DisY(i),,,,,,,,,

D,Nod(i),UZ,DisZ(i),,,,,,,,,

\*ENDDO

FINISH

## Listato Ansys per effettuare l'analisi statica

! Entro nel solutore

/SOLU

! La variabile 0 definisce l'analisi statica

ANTYPE,0

! Se la variabile 0 in PSTRES è uguale a 1, sono attivi anche gli effetti della precompressione

PSTRES,0

! Estraggo i risultati

outres,all,all

/output,risultati\_statica\_saloneC\_ConMuri,txt

! Risolvo l'analisi statica

SOLVE

FINISH

/output

## **Listato Ansys per la definizione delle caratteristiche di sollecitazione**

! Entro nel post processore

FINISH

/POST1

! Definisco una tabella contenente le caratteristiche di sollecitazione

AVPRIN,0, ,

! Definisco lo sforzo normale all'estremo i e j per gli elementi Beam 188

ETABLE,N\_I,SMISC,1

ETABLE,N\_J,SMISC,14

! Definisco il momento flettente My all'estremo i e j per gli elementi Beam 188

ETABLE,MY\_I,SMISC,2

ETABLE,MY\_J,SMISC,15

! Definisco il momento flettente Mz all'estremo i e j per gli elementi Beam 188

ETABLE,MZ\_I,SMISC,3

ETABLE,MZ\_J,SMISC,16

! Definisco il momento torcente Mx all'estremo i e j per gli elementi Beam 188

ETABLE,MX\_I,SMISC,4

ETABLE,MX\_J,SMISC,17

! Definisco il taglio Tz all'estremo i e j per gli elementi Beam 188

ETABLE,TZ\_I,SMISC,5

ETABLE,TZ\_J,SMISC,18

! Definisco il taglio Ty all'estremo i e j per gli elementi Beam 188

ETABLE,TY\_I,SMISC,6

ETABLE,TY\_J,SMISC,19

! Definisco lo sforzo normale uscente dalla faccia 1 dell'elemento shell 188

ETABLE,N11\_SHELL,SMISC,1

! Definisco lo sforzo normale uscente dalla faccia 1 dell'elemento shell 188

ETABLE,N22\_SHELL,SMISC,2

Allegati A

! Definisco gli sforzi tangenziali delle facce 1-2 dell'elemento shell 188

ETABLE,N12\_SHELL,SMISC,3

! Definisco il momento flettente della faccia 1 dell'elemento shell 188

ETABLE,M11\_SHELL,SMISC,4

! Definisco il momento flettente della faccia 2 dell'elemento shell 188

ETABLE,M22\_SHELL,SMISC,5

! Definisco il momento torcente delle facce 1-2 dell'elemento shell 188

ETABLE,M12\_SHELL,SMISC,6

! Definisco il taglio sulla faccia 1 dell'elemento shell 188

ETABLE,Q13\_SHELL,SMISC,7

! Definisco il taglio sulla faccia 2 dell'elemento shell 188

ETABLE,Q23\_SHELL,SMISC,8

## Listato Ansys per l'estrazione delle caratteristiche di sollecitazione

! Questo listato va eseguito tante volte quante sono le caratteristiche di sollecitazione da  
! estrarre

! Entro nel post processore

FINISH

/POST1

! La variabile rappresenta la combinazione i esima, le successive due variabili definiscono  
il nome del file di output e la sua estensione

i=1

mfilpre = 'Sforzo\_Normale\_Travi'

mfilpst = 'txt'

! Dimensiono un vettore colonna di nome CarN che conterrà lo sforzo normale N\_I degli  
! elementi bema 188

\*GET,mxnd,ELEM,,NUM,MAX

\*DIM,CarN,ARRAY,mxnd,1,1

\*DO,jj,1,mxnd

    \*VGET,CarN(jj,1),ELEM,jj,ETAB,N\_I, , ,

\*ENDDO

! Creazione di un file temporaneo

\*CREATE,ansuitmp

\*CFOPEN,%mfilpre%%i%.%mfilpst%

! Scrittura del vettore CarN sul file txt di output

\*VWRITE,CarN(1,1)

(G)

! Chiusura del file temporaneo e fine dell'output

\*CFCLOS

\*END

/INPUT,ansuitmp



Allegati B

```
i=1;
j=1;
for i=1:4
    j=1;
    for j=1:27
        if i==1
            mat_1(i,j)=dati(i,j)/distanza_1;
            mat_2(i,j)=1/distanza_1;
        elseif i==2
            mat_1(i,j)=dati(i,j)/distanza_2;
            mat_2(i,j)=1/distanza_2;
        elseif i==3
            mat_1(i,j)=dati(i,j)/distanza_3;
            mat_2(i,j)=1/distanza_3;
        else
            mat_1(i,j)=dati(i,j)/distanza_4;
            mat_2(i,j)=1/distanza_4;
        end
    end
end
end
vet_1=sum(mat_1);
vet_2=sum(mat_2);
vet_3=vet_1./vet_2;
Tr_30=[30 vet_3(1,1)/10 vet_3(1,2) vet_3(1,3)];
Tr_50=[50 vet_3(1,4)/10 vet_3(1,5) vet_3(1,6)];
Tr_72=[72 vet_3(1,7)/10 vet_3(1,8) vet_3(1,9)];
Tr_101=[101 vet_3(1,10)/10 vet_3(1,11) vet_3(1,12)];
Tr_140=[140 vet_3(1,13)/10 vet_3(1,14) vet_3(1,15)];
Tr_201=[201 vet_3(1,16)/10 vet_3(1,17) vet_3(1,18)];
Tr_475=[475 vet_3(1,19)/10 vet_3(1,20) vet_3(1,21)];
```

```

Tr_975=[975 vet_3(1,22)/10 vet_3(1,23) vet_3(1,24)];
Tr_2475=[2475 vet_3(1,25)/10 vet_3(1,26) vet_3(1,27)];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
si procede ora con la seconda interpolazione facendo variare Tr%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Vn=50; %vita nominale
Cu=2; %classe d'uso
Vr=Vn*Cu; %vita di riferimento
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
variare qua la Pvr tenendo fisso tutto il resto%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Pvr=0.1; %0.1 vuol dire 10%, ovvero è la probabilità dello SLV
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Tr_poisson=(-Vr)/(log(1-Pvr));
if Tr_poisson>2475 %periodo di ritorno dell'azione sisimica
    Tr_poisson=2475;
else
    Tr_poisson=(-Vr)/(log(1-Pvr));
end
Tr_interpolato=zeros(1,3);
if Tr_poisson<Tr_30(1,1)
    Tr_interpolato(1,1)=Tr_30(1,2);
    Tr_interpolato(1,2)=Tr_30(1,3);
    Tr_interpolato(1,3)=Tr_30(1,4);
elseif Tr_poisson<Tr_50(1,1)
    Tr_interpolato(1,1)=10^(log10(Tr_30(1,2))+(log10(Tr_poisson/Tr_30(1,1))*(log10(Tr_50(1,2)/Tr_30(1,2))*(log10(Tr_50(1,1)/Tr_30(1,1)))^-1));
    Tr_interpolato(1,2)=10^(log10(Tr_30(1,3))+(log10(Tr_poisson/Tr_30(1,1))*(log10(Tr_50(1,3)/Tr_30(1,3))*(log10(Tr_50(1,1)/Tr_30(1,1)))^-1));
    Tr_interpolato(1,3)=10^(log10(Tr_30(1,4))+(log10(Tr_poisson/Tr_30(1,1))*(log10(Tr_50(1,4)/Tr_30(1,4))*(log10(Tr_50(1,1)/Tr_30(1,1)))^-1));
elseif Tr_poisson<Tr_72(1,1)
    Tr_interpolato(1,1)=10^(log10(Tr_50(1,2))+(log10(Tr_poisson/Tr_50(1,1))*(log10(Tr_72(1,2)/Tr_50(1,2))*(log10(Tr_72(1,1)/Tr_50(1,1)))^-1));

```

$Tr\_interpolato(1,2)=10^{(\log_{10}(Tr\_50(1,3))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_50(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_72(1,3)/Tr\_50(1,3)))*((\log_{10}(Tr\_72(1,1)/Tr\_50(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,3)=10^{(\log_{10}(Tr\_50(1,4))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_50(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_72(1,4)/Tr\_50(1,4)))*((\log_{10}(Tr\_72(1,1)/Tr\_50(1,1)))^{-1}))};$

elseif  $Tr\_poisson < Tr\_101(1,1)$

$Tr\_interpolato(1,1)=10^{(\log_{10}(Tr\_72(1,2))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_72(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_101(1,2)/Tr\_72(1,2)))*((\log_{10}(Tr\_101(1,1)/Tr\_72(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,2)=10^{(\log_{10}(Tr\_72(1,3))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_72(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_101(1,3)/Tr\_72(1,3)))*((\log_{10}(Tr\_101(1,1)/Tr\_72(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,3)=10^{(\log_{10}(Tr\_72(1,4))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_72(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_101(1,4)/Tr\_72(1,4)))*((\log_{10}(Tr\_101(1,1)/Tr\_72(1,1)))^{-1}))};$

elseif  $Tr\_poisson < Tr\_140(1,1)$

$Tr\_interpolato(1,1)=10^{(\log_{10}(Tr\_101(1,2))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_101(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_140(1,2)/Tr\_101(1,2)))*((\log_{10}(Tr\_140(1,1)/Tr\_101(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,2)=10^{(\log_{10}(Tr\_101(1,3))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_101(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_140(1,3)/Tr\_101(1,3)))*((\log_{10}(Tr\_140(1,1)/Tr\_101(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,3)=10^{(\log_{10}(Tr\_101(1,4))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_101(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_140(1,4)/Tr\_101(1,4)))*((\log_{10}(Tr\_140(1,1)/Tr\_101(1,1)))^{-1}))};$

elseif  $Tr\_poisson < Tr\_201(1,1)$

$Tr\_interpolato(1,1)=10^{(\log_{10}(Tr\_140(1,2))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_140(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_201(1,2)/Tr\_140(1,2)))*((\log_{10}(Tr\_201(1,1)/Tr\_140(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,2)=10^{(\log_{10}(Tr\_140(1,3))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_140(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_201(1,3)/Tr\_140(1,3)))*((\log_{10}(Tr\_201(1,1)/Tr\_140(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,3)=10^{(\log_{10}(Tr\_140(1,4))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_140(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_201(1,4)/Tr\_140(1,4)))*((\log_{10}(Tr\_201(1,1)/Tr\_140(1,1)))^{-1}))};$

elseif  $Tr\_poisson < Tr\_475(1,1)$

$Tr\_interpolato(1,1)=10^{(\log_{10}(Tr\_201(1,2))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_201(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_475(1,2)/Tr\_201(1,2)))*((\log_{10}(Tr\_475(1,1)/Tr\_201(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,2)=10^{(\log_{10}(Tr\_201(1,3))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_201(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_475(1,3)/Tr\_201(1,3)))*((\log_{10}(Tr\_475(1,1)/Tr\_201(1,1)))^{-1}))};$

$Tr\_interpolato(1,3)=10^{(\log_{10}(Tr\_201(1,4))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_201(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_475(1,4)/Tr\_201(1,4)))*((\log_{10}(Tr\_475(1,1)/Tr\_201(1,1)))^{-1}))};$

elseif  $Tr\_poisson < Tr\_975(1,1)$

$Tr\_interpolato(1,1)=10^{(\log_{10}(Tr\_475(1,2))+(\log_{10}(Tr\_poisson/Tr\_475(1,1)))*(\log_{10}(Tr\_975(1,2)/Tr\_475(1,2)))*((\log_{10}(Tr\_975(1,1)/Tr\_475(1,1)))^{-1}))};$

```
Tr_interpolato(1,2)=10^(log10(Tr_475(1,3))+(log10(Tr_poisson/Tr_475(1,1))*(log10(Tr_975(1,3)/Tr_475(1,3)))*((log10(Tr_975(1,1)/Tr_475(1,1)))^-1));
```

```
Tr_interpolato(1,3)=10^(log10(Tr_475(1,4))+(log10(Tr_poisson/Tr_475(1,1))*(log10(Tr_975(1,4)/Tr_475(1,4)))*((log10(Tr_975(1,1)/Tr_475(1,1)))^-1));
```

```
elseif Tr_poisson<Tr_2475(1,1)
```

```
Tr_interpolato(1,1)=10^(log10(Tr_975(1,2))+(log10(Tr_poisson/Tr_975(1,1))*(log10(Tr_2475(1,2)/Tr_975(1,2)))*((log10(Tr_2475(1,1)/Tr_975(1,1)))^-1));
```

```
Tr_interpolato(1,2)=10^(log10(Tr_975(1,3))+(log10(Tr_poisson/Tr_975(1,1))*(log10(Tr_2475(1,3)/Tr_975(1,3)))*((log10(Tr_2475(1,1)/Tr_975(1,1)))^-1));
```

```
Tr_interpolato(1,3)=10^(log10(Tr_975(1,4))+(log10(Tr_poisson/Tr_975(1,1))*(log10(Tr_2475(1,4)/Tr_975(1,4)))*((log10(Tr_2475(1,1)/Tr_975(1,1)))^-1));
```

```
else
```

```
Tr_interpolato(1,1)=Tr_2475(1,2);
```

```
Tr_interpolato(1,2)=Tr_2475(1,3);
```

```
Tr_interpolato(1,3)=Tr_2475(1,4);
```

```
end
```

```
Tr_interpolato;
```

```
%%%%%%%%%%%%inizializzazione parametri per la costruzione degli spettri%%%%%%%%%
```

```
xi=5;
```

```
eta=sqrt(10/(5+xi));
```

```
%la formula di Cc è valida solo per il suolo C
```

```
Cc=1.05*(Tr_interpolato(1,3)^-0.33);
```

```
St=1;
```

```
%la formula di Ss è valida solo per il suolo C
```

```
Ss=(1.70-0.6*(Tr_interpolato(1,2)*(Tr_interpolato(1,1)/9.81)));
```

```
if Ss<1
```

```
    Ss=1
```

```
elseif Ss>1.5
```

```
    Ss=1.5;
```

```
else
```

Allegati B

```
Ss=(1.70-0.6*(Tr_interpolato(1,2)*(Tr_interpolato(1,1)/9.81)));
end
S=Ss*St;
Td=((4*Tr_interpolato(1,1)/1)+1.6);
Tc=Cc*Tr_interpolato(1,3);
Tb=Tc/3;
%%%%%%%%%%%%%inizio costruzione grafica spettro orizzontale%%%%%%%%%%%%%
t1=0;
t2=Tb/2;
t3=Tb;
t4=Tc:0.08:Td-0.1;
t5=Td:0.08:4;
T=[t1 t2 t3 t4 t5];
dim_T=size(T);
Sa=zeros(1,dim_T(1,2));
i=1;
for i=1:dim_T(1,2)
    if T(1,i)>=0 && T(1,i)<Tb
Sa(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2)*((T(1,i)/Tb)+(1/(eta*Tr_interpolato(1,2)))*(1-(T(1,i)/Tb)));
    elseif T(1,i)>=Tb && T(1,i)<Tc
        Sa(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2);
    elseif T(1,i)>=Tc && T(1,i)<Td
        Sa(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2)*(Tc/T(1,i));
    elseif T(1,i)>=Td
        Sa(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2)*((Tc*Td)/(T(1,i)^2));
    end
end
end
plot(T,Sa)
xlabel('T [s]')
```

```

ylabel('Sa [g]')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%ricerca dell'accelerazione spettrale per un dato periodo%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
freq=fopen('freq.txt','r');
frequenze=fscanf(freq,'%g',[1 inf]);
fclose(freq);
frequenze;
dim_freq=size(frequenze);
Sad=zeros(dim_freq(1,1),1);
j=1;
for j=1:dim_freq(1,1)
time=1/frequenze(j,1);
i=1;
for i=1:dim_T(1,2)
    if time>=0 && time<Tb
Sad(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2)*((time/Tb)+(1/(eta*Tr_interpolato(1,2))))*(1-time/Tb));
    elseif time>=Tb && time<Tc
        Sad(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2);
    elseif time>=Tc && time<Td
        Sad(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2)*(Tc/time);
    elseif time>=Td
        Sad(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S*eta*Tr_interpolato(1,2)*((Tc*Td)/(time^2));
    end
end
end
Sad;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Inizio generazione spettro verticale%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Tr_interpolato;
S_v=1*St;
Fv=1.35*Tr_interpolato(1,2)*(Tr_interpolato(1,1))^0.5;

```

Allegati B

```
Tb_v=0.05;
Tc_v=0.15;
Td_v=1;
t1_v=0;
t2_v=Tb_v/2;
t3_v=Tb_v;
t4_v=Tc_v:0.08:Td_v-0.1;
t5_v=Td_v:0.08:4;
T_v=[t1_v t2_v t3_v t4_v t5_v];
dim_T_v=size(T_v);
Sv=zeros(1,dim_T_v(1,2));
i=1;
for i=1:dim_T_v(1,2)
    if T_v(1,i)>=0 && T_v(1,i)<Tb_v
Sv(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv*((T_v(1,i)/Tb_v)+(1/(eta*Tr_interpolato(1,2))))*
(1-(T_v(1,i)/Tb_v));
    elseif T_v(1,i)>=Tb_v && T_v(1,i)<Tc_v
    Sv(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv;
    elseif T_v(1,i)>=Tc_v && T_v(1,i)<Td_v
    Sv(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv*(Tc_v/T_v(1,i));
    elseif T_v(1,i)>=Td_v
    Sv(1,i)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv*((Tc_v*Td_v)/(T_v(1,i)^2));
    end
end
plot(T_v,Sv)
xlabel('T [s]')
ylabel('Sa,d [g]')
hold on
plot(T,Sa)
hold off
```

```

lgd = legend('Sv,d [g]','So,d [g]');
title(lgd,'Spettro elastico in accelerazione')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%ricerca dell'accelerazione spettrale verticale per un dato periodo%%%%%%%%
freq=fopen('freq.txt','r');
frequenze=fscanf(freq,'%g',[1 inf]);
fclose(freq);
dim_freq=size(frequenze);
Svd=zeros(dim_freq(1,1),1);
j=1;
for j=1:dim_freq(1,1)
time=1/frequenze(j,1);
i=1;
for i=1:dim_T_v(1,2)
    if time>=0 && time<Tb_v
Svd(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv*((time/Tb_v)+(1/(eta*Tr_interpolato(1,2)))*(1
-(time/Tb_v)));
        elseif time>=Tb_v && time<Tc_v
            Svd(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv;
        elseif time>=Tc_v && time<Td_v
            Svd(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv*(Tc_v/time);
        elseif time>=Td_v
            Svd(j,1)=Tr_interpolato(1,1)*S_v*eta*Fv*((Tc_v*Td_v)/(time^2));
        end
    end
end
end
Svd;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%INIZIO ELABORAZIONI PER ANALISI SPETTRALE%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%calcolo coordinate modali massime%%%%%%%%
fatt_part=fopen('fatt_part.txt','r');
part_fact=fscanf(fatt_part,'%g',[1 inf]);

```

```

fclose(fatt_part);
part_fact;
dim_part_fact=size(part_fact);
q_max=zeros(dim_part_fact(1,1),1);
frequenze_espanse=cat(1,frequenze,frequenze,frequenze);
%%%%%%%%%%Qua multiplico le Sad per 1 0.3 0.3 generando le combinazioni%%%%%%%%%%
Sad_espanse=cat(1,Sad*0.3,Sad*0.3,Svd*1);
%%%%%%%%%%la terza Sad sar  quella dello spettro verticale %%%%%%%%%%%
i=1;
for i=i:dim_part_fact(1,1)
    q_max(i,1)=part_fact(i,1)*(Sad_espanse(i,1)/((2*pi*frequenze_espanse(i,1))^2));
end
%%%%%%%%%%preparazione matrice coordinate modali%%%%%%%%%%
j=length(q_max);
i=1;
for i=1:j
    if i>=1 && i<=j/3
        q0(i,1)=q_max(i,1);
    else if i>j/3 && i<=j*2/3
        k=i-j/3;
        q1(k,1)=q_max(i,1);
    else
        k=i-j*2/3;
        q2(k,1)=q_max(i,1);
    end
end
end
q_or=cat(2,q0,q1,q2);
%%%%%%%%%% Inserire il numero del modo da estrarre nel vettore modindex %%%%%%%%%%%
modindex = [3 4 6 7 8 9 11 14];

```

Allegati B

```
length(modindex);
modprog = 0;
for ii = 1:length(modindex)
    modprog = modprog + 1;
    str = sprintf('mode%d.txt',modindex(ii));
    shaFEM0 = load(str);
    MAT = vec2mat(shaFEM0,4);
    if ii == 1
        shaNOD = [MAT(:,1) ; MAT(:,1) ; MAT(:,1)];
    end
    shaFEMt = MAT(:,2:end);
    shaFEM(:,modprog) = shaFEMt(:); % eigenvectors matrix
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Espanzione matrice coordinate modali%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i=1;
j=1;
k=size(shaFEM);
for j=1:k(1,2)
    i=1;
    for i=1:k(1,1)/3
        q_esp(i,j)=q_or(j,1);
    end
    for i=(k(1,1)/3+1):(k(1,1)*(2/3))
        q_esp(i,j)=q_or(j,2);
    end
    for i=(k(1,1)*(2/3)+1):(k(1,1)*3/3)
        q_esp(i,j)=q_or(j,3);
    end
end
end
q_esp;
```

```
shaFEM;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Calcolo spostamenti massimi%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
U_max=q_esp.*shaFEM;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%inizio generazione output da inserire in ansys%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
i=1;
j=1;
k=size shaFEM;
Nod = shaNOD(1:k/3,1);
fid=fopen('Nod.txt','wt');
fprintf(fid,'%d \n',Nod);
fclose(fid);
for j=1:k(1,2)
    str_1=sprintf('DisX_mode%d.txt',modindex(j));
    str_2=sprintf('DisY_mode%d.txt',modindex(j));
    str_3=sprintf('DisZ_mode%d.txt',modindex(j));
    fid=fopen(str_1,'wt');
    fprintf(fid,'%0.15f \n',U_max(1:k/3,j));
    fclose(fid);
    fid=fopen(str_2,'wt');
    fprintf(fid,'%0.15f \n',U_max(k/3+1:k*2/3,j));
    fclose(fid);
    fid=fopen(str_3,'wt');
    fprintf(fid,'%0.15f \n',U_max(k*2/3+1:k*3/3,j));
fclose(fid);
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Identificazione del valore massimo%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
[max_val,pos_idx]=max(U_max(:))
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Identificazione degli indici (riga,colonna) del valore massimo%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
[row_idx,col_idx]=ind2sub(size(U_max),pos_idx)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FINE%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

## Script Matlab per la selezione delle caratteristiche di sollecitazione degli elementi da verificare

```
clear all
clc
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
fid=fopen('Sforzo_Normale_Travi2.txt','r');
matrice_sforzi=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
fid=fopen('Momento_Y_Travi2.txt','r');
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
fid=fopen('Momento_Z_Travi2.txt','r');
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
fid=fopen('Taglio_Y_Travi2.txt','r');
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
fid=fopen('Taglio_Z_Travi2.txt','r');
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
fid=fopen('Sforzo_Normale_Lastra2.txt','r');
```

Allegati B

```
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
fid=fopen('Momento_Y_Lastra2.txt','r');
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
fid=fopen('Taglio_Y_Lastra2.txt','r');
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
fid=fopen('Taglio_Z_Lastra2.txt','r');
colonna=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
matrice_sforzi=cat(2,matrice_sforzi,colonna);
clear colonna
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
matrice_ridotta=matrice_sforzi(17150,:);
matrice_ridotta=cat(1,matrice_ridotta,matrice_sforzi(17153,:));
matrice_ridotta=cat(1,matrice_ridotta,matrice_sforzi(16771,:));
matrice_ridotta=cat(1,matrice_ridotta,matrice_sforzi(17940,:));
matrice_ridotta=cat(1,matrice_ridotta,matrice_sforzi(17945,:));
matrice_ridotta=cat(1,matrice_ridotta,matrice_sforzi(6187,:));
matrice_ridotta=cat(1,matrice_ridotta,matrice_sforzi(5977,:));
vettore_stampa=matrice_ridotta(1,:);
vettore_stampa=cat(2,vettore_stampa,matrice_ridotta(2,:));
vettore_stampa=cat(2,vettore_stampa,matrice_ridotta(3,:));
```

Allegati B

```
vettore_stampa=cat(2,vettore_stampa,matrice_ridotta(4,:));  
vettore_stampa=cat(2,vettore_stampa,matrice_ridotta(5,:));  
vettore_stampa=cat(2,vettore_stampa,matrice_ridotta(6,:));  
vettore_stampa=cat(2,vettore_stampa,matrice_ridotta(7,:));  
fid=fopen('2.8.txt','wt');  
fprintf(fid,'%0.15f%0.15f%0.15f%0.15f%0.15f%0.15f%0.15f%0.15f%0.15f\n',vettore_stampa);  
fclose(fid);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FINE%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

## Script Matlab per generazione dell'output in excel e combinazione degli effetti secondo la CQC

```

clear all

clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

i=1;

for i=1:8

    j=i;

    str = sprintf('2.%d.txt',j(1,1));

    fid=fopen(str,'r');

    elem_17150(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1]);

    elem_17153(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1]);

    elem_16771(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1]);

    elem_17940(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1]);

    elem_17945(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1]);

    elem_6187(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1]);

    elem_5977(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1]);

    fclose(fid);

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Carico i dati geometrici delle shell e li uso sulle caratteristiche di
sollecitazione%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

fid=fopen('shell_17150.txt','r');

dati_17150=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);

fclose(fid);

fid=fopen('shell_17153.txt','r');

dati_17153=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);

fclose(fid);

fid=fopen('shell_16771.txt','r');

dati_16771=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);

fclose(fid);

```

Allegati B

```
elem_17150=elem_17150*dati_17150(1,1)
elem_17153=elem_17153*dati_17153(1,1)
elem_16771=elem_16771*dati_16771(1,1)
A=zeros(1,8);
elem_17150(10,:)=elem_17150(8,:)*dati_17150(2,1);
elem_17153(10,:)=elem_17153(8,:)*dati_17153(2,1);
elem_16771(10,:)=elem_16771(8,:)*dati_16771(2,1);
elem_17940=cat(1,elem_17940,A);
elem_17945=cat(1,elem_17945,A);
elem_6187=cat(1,elem_6187,A);
elem_5977=cat(1,elem_5977,A);
xlswrite('output_comb1',elem_17150,1,'C5')
xlswrite('output_comb1',elem_17153,2,'C5')
xlswrite('output_comb1',elem_16771,3,'C5')
xlswrite('output_comb1',elem_17940,4,'C5')
xlswrite('output_comb1',elem_17945,5,'C5')
xlswrite('output_comb1',elem_6187,6,'C5')
xlswrite('output_comb1',elem_5977,7,'C5')
elem_17150=elem_17150'
elem_17153=elem_17153'
elem_16771=elem_16771'
elem_17940=elem_17940'
elem_17945=elem_17945'
elem_6187=elem_6187'
elem_5977=elem_5977'
%%%%%%%%%%%%%%Inizio combinazione secondo il metodo CQC%%%%%%%%%%%%%%
fid=fopen('freq.txt','r');
frequenze=fscanf(fid,'%g',[1 inf]);
fclose(fid);
i=1;
```

Allegati B

```
for i=1:length(frequenze)
    T(i,1)=1/frequenze(i,1);
end
elem_17150_CQC=zeros(1,10);
xi=0.05;
k=1;
for k=1:10
    i=1;
    j=1;
    for i=1:length(T)
        for j=1:length(T)
            beta=T(j,1)/T(i,1);
            ro=(8*(xi^2)*(beta^(3/2)))/((1+beta)*(((1-beta)^2)+4*beta*xi^2));
            elem_17150_CQC(1,k)=elem_17150_CQC(1,k)+(ro*elem_17150(i,k)*elem_17150(j,k));
        end
    end
    elem_17150_CQC(1,k)=(elem_17150_CQC(1,k)^0.5);
end
elem_17150_CQC=elem_17150_CQC';
elem_17153_CQC=zeros(1,10);
xi=0.05;
k=1;
for k=1:10
    i=1;
    j=1;
    for i=1:length(T)
        for j=1:length(T)
            beta=T(j,1)/T(i,1);
            ro=(8*(xi^2)*(beta^(3/2)))/((1+beta)*(((1-beta)^2)+4*beta*xi^2));
```

```

elem_17153_CQC(1,k)=elem_17153_CQC(1,k)+(ro*elem_17153(i,k)*elem_17153(j,k));
    end
end
elem_17153_CQC(1,k)=(elem_17153_CQC(1,k)^0.5);
end
elem_17153_CQC=elem_17153_CQC';
elem_16771_CQC=zeros(1,10);
xi=0.05;
k=1;
for k=1:10
    i=1;
    j=1;
    for i=1:length(T)
        for j=1:length(T)
            beta=T(j,1)/T(i,1);
            ro=(8*(xi^2)*(beta^(3/2)))/((1+beta)*(((1-beta)^2)+4*beta*xi^2));
elem_16771_CQC(1,k)=elem_16771_CQC(1,k)+(ro*elem_16771(i,k)*elem_16771(j,k));
            end
        end
        elem_16771_CQC(1,k)=(elem_16771_CQC(1,k)^0.5);
    end
end
elem_16771_CQC=elem_16771_CQC';
elem_17940_CQC=zeros(1,10);
xi=0.05;
k=1;
for k=1:10
    i=1;
    j=1;
    for i=1:length(T)

```

Allegati B

```
for j=1:length(T)
    beta=T(j,1)/T(i,1);
    ro=(8*(xi^2)*(beta^(3/2)))/((1+beta)*(((1-beta)^2)+4*beta*xi^2));
elem_17940_CQC(1,k)=elem_17940_CQC(1,k)+(ro*elem_17940(i,k)*elem_17940(j,k));
end
end
elem_17940_CQC(1,k)=(elem_17940_CQC(1,k)^0.5);
end
elem_17940_CQC=elem_17940_CQC';
elem_17945_CQC=zeros(1,10);
xi=0.05;
k=1;
for k=1:10
    i=1;
    j=1;
    for i=1:length(T)
        for j=1:length(T)
            beta=T(j,1)/T(i,1);
            ro=(8*(xi^2)*(beta^(3/2)))/((1+beta)*(((1-beta)^2)+4*beta*xi^2));
elem_17945_CQC(1,k)=elem_17945_CQC(1,k)+(ro*elem_17945(i,k)*elem_17945(j,k));
        end
    end
end
elem_17945_CQC(1,k)=(elem_17945_CQC(1,k)^0.5);
end
elem_17945_CQC=elem_17945_CQC';
elem_6187_CQC=zeros(1,10);
xi=0.05;
k=1;
for k=1:10
    i=1;
```

Allegati B

```
j=1;
for i=1:length(T)
    for j=1:length(T)
        beta=T(j,1)/T(i,1);
        ro=(8*(xi^2)*(beta^(3/2)))/((1+beta)*(((1-beta)^2)+4*beta*xi^2));
        elem_6187_CQC(1,k)=elem_6187_CQC(1,k)+(ro*elem_6187(i,k)*elem_6187(j,k));
    end
end
elem_6187_CQC(1,k)=(elem_6187_CQC(1,k)^0.5);
end
elem_6187_CQC=elem_6187_CQC';
elem_5977_CQC=zeros(1,10);
xi=0.05;
k=1;
for k=1:10
    i=1;
    j=1;
    for i=1:length(T)
        for j=1:length(T)
            beta=T(j,1)/T(i,1);
            ro=(8*(xi^2)*(beta^(3/2)))/((1+beta)*(((1-beta)^2)+4*beta*xi^2));
            elem_5977_CQC(1,k)=elem_5977_CQC(1,k)+(ro*elem_5977(i,k)*elem_5977(j,k));
        end
    end
end
elem_5977_CQC(1,k)=(elem_5977_CQC(1,k)^0.5);
end
elem_5977_CQC=elem_5977_CQC';
%%%%%%%%%%%%%%output dei risultati in un foglio excel%%%%%%%%%%%%%%
xlswrite('output_comb1',elem_17150_CQC,1,'K5')
xlswrite('output_comb1',elem_17153_CQC,2,'K5')
```

```
xlswrite('output_comb1',elem_16771_CQC,3,'K5')
xlswrite('output_comb1',elem_17940_CQC,4,'K5')
xlswrite('output_comb1',elem_17945_CQC,5,'K5')
xlswrite('output_comb1',elem_6187_CQC,6,'K5')
xlswrite('output_comb1',elem_5977_CQC,7,'K5')
%%%%%%%%%%%%lettura del file contenente i risultati dell'analisi statica%%%%%%%%
i=1;
for i=1:1
    fid=fopen('statica_conmuri.txt','r');
    statica_elem_17150(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1])'
    statica_elem_17153(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1])'
    statica_elem_16771(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1])'
    statica_elem_17940(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1])'
    statica_elem_17945(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1])'
    statica_elem_6187(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1])'
    statica_elem_5977(:,i)=fscanf(fid,'%g %g %g %g %g %g %g %g %g %g',[9 1])'
    fclose(fid);
end
statica_elem_17150=statica_elem_17150*dati_17150(1,1);
statica_elem_17153=statica_elem_17153*dati_17153(1,1);
statica_elem_16771=statica_elem_16771*dati_16771(1,1);
B=0;
statica_elem_17150(10,:)=statica_elem_17150(8,:)*dati_17150(2,1);
statica_elem_17153(10,:)=statica_elem_17153(8,:)*dati_17153(2,1);
statica_elem_16771(10,:)=statica_elem_16771(8,:)*dati_16771(2,1);
statica_elem_17940=cat(1,statica_elem_17940,B);
statica_elem_17945=cat(1,statica_elem_17945,B);
statica_elem_6187=cat(1,statica_elem_6187,B);
statica_elem_5977=cat(1,statica_elem_5977,B);
xlswrite('output_comb1',statica_elem_17150,1,'L5')
```

Allegati B

```
xlswrite('output_comb1',statica_elem_17153,2,'L5')
```

```
xlswrite('output_comb1',statica_elem_16771,3,'L5')
```

```
xlswrite('output_comb1',statica_elem_17940,4,'L5')
```

```
xlswrite('output_comb1',statica_elem_17945,5,'L5')
```

```
xlswrite('output_comb1',statica_elem_6187,6,'L5')
```

```
xlswrite('output_comb1',statica_elem_5977,7,'L5')
```

```
%%%%%%%%%%%%%%FINE%%%%%%%%%%%%%%
```

## Script Matlab per l'estrapolazione dei dati geometrici necessari per l'elaborazione degli elementi shell

```

clear all

clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Inserimento vertici triangolo%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
P1=[2631.966807 1183.941458 12.644831];
P2=[2631.247116 1183.776425 12.933046];
P3=[2632.318958 1183.377923 13.628992];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Calcolo baricentro triangolo nello spazio%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Mat_punti=cat(1,P1,P2,P3);
G_x=(1/length(P1))*sum(Mat_punti(:,1));
G_y=(1/length(P1))*sum(Mat_punti(:,2));
G_z=(1/length(P1))*sum(Mat_punti(:,3));
G=cat(2,G_x,G_y,G_z)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Calcolo distanze vertici triangolo%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
P12=(((P1(1,1)-P2(1,1))^2)+((P1(1,2)-P2(1,2))^2)+((P1(1,3)-P2(1,3))^2))^(1/2);
P23=(((P2(1,1)-P3(1,1))^2)+((P2(1,2)-P3(1,2))^2)+((P2(1,3)-P3(1,3))^2))^(1/2);
P13=(((P1(1,1)-P3(1,1))^2)+((P1(1,2)-P3(1,2))^2)+((P1(1,3)-P3(1,3))^2))^(1/2);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Calcolo distanza media vertici triangolo%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Lm=((P12+P23+P13)/3)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Calcolo equazione parametrica retta nello spazio passante per due punti%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Retta passante per P1 e P2%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
X1=[P1(1,1) (P2(1,1)-P1(1,1))];
X2=[P1(1,2) (P2(1,2)-P1(1,2))];
X3=[P1(1,3) (P2(1,3)-P1(1,3))];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Vettore direzione retta nello spazio%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Vr=[X1(1,2) X2(1,2) X3(1,2)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%calcolo termine noto equazione del piano%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
d=-((Vr(1,1)*G(1,1)+Vr(1,2)*G(1,2)+Vr(1,3)*G(1,3)));

```

Calcolo di t

t=-

$$\left( \frac{d + V_r(1,1) \cdot X_1(1,1) + V_r(1,2) \cdot X_2(1,1) + V_r(1,3) \cdot X_3(1,1)}{V_r(1,1) \cdot X_1(1,2) + V_r(1,2) \cdot X_2(1,2) + V_r(1,3) \cdot X_3(1,2)} \right);$$

Calcolo coordinate punto intersezione retta piano

$$\text{Pint} = [(X_1(1,1) + X_1(1,2) \cdot t) \quad (X_2(1,1) + X_2(1,2) \cdot t) \quad (X_3(1,1) + X_3(1,2) \cdot t)];$$

Calcolo distanza G-Pint

$$a = \left( ((G(1,1) - \text{Pint}(1,1))^2 + ((G(1,2) - \text{Pint}(1,2))^2 + ((G(1,3) - \text{Pint}(1,3))^2) \right)^{1/2}$$

clear X1 X2 X3 d t Pint

Il processo viene ora eseguito per i restati punti in modo analogo

$$X_1 = [P_1(1,1) \quad (P_3(1,1) - P_1(1,1))];$$

$$X_2 = [P_1(1,2) \quad (P_3(1,2) - P_1(1,2))];$$

$$X_3 = [P_1(1,3) \quad (P_3(1,3) - P_1(1,3))];$$

$$V_r = [X_1(1,2) \quad X_2(1,2) \quad X_3(1,2)];$$

$$d = -(V_r(1,1) \cdot G(1,1) + V_r(1,2) \cdot G(1,2) + V_r(1,3) \cdot G(1,3));$$

t=-

$$\left( \frac{d + V_r(1,1) \cdot X_1(1,1) + V_r(1,2) \cdot X_2(1,1) + V_r(1,3) \cdot X_3(1,1)}{V_r(1,1) \cdot X_1(1,2) + V_r(1,2) \cdot X_2(1,2) + V_r(1,3) \cdot X_3(1,2)} \right);$$

$$\text{Pint} = [(X_1(1,1) + X_1(1,2) \cdot t) \quad (X_2(1,1) + X_2(1,2) \cdot t) \quad (X_3(1,1) + X_3(1,2) \cdot t)];$$

$$b = \left( ((G(1,1) - \text{Pint}(1,1))^2 + ((G(1,2) - \text{Pint}(1,2))^2 + ((G(1,3) - \text{Pint}(1,3))^2) \right)^{1/2}$$

clear X1 X2 X3 d t Pint

$$X_1 = [P_2(1,1) \quad (P_3(1,1) - P_2(1,1))];$$

$$X_2 = [P_2(1,2) \quad (P_3(1,2) - P_2(1,2))];$$

$$X_3 = [P_2(1,3) \quad (P_3(1,3) - P_2(1,3))];$$

$$V_r = [X_1(1,2) \quad X_2(1,2) \quad X_3(1,2)];$$

$$d = -(V_r(1,1) \cdot G(1,1) + V_r(1,2) \cdot G(1,2) + V_r(1,3) \cdot G(1,3));$$

t=-

$$\left( \frac{d + V_r(1,1) \cdot X_1(1,1) + V_r(1,2) \cdot X_2(1,1) + V_r(1,3) \cdot X_3(1,1)}{V_r(1,1) \cdot X_1(1,2) + V_r(1,2) \cdot X_2(1,2) + V_r(1,3) \cdot X_3(1,2)} \right);$$

$$\text{Pint} = [(X_1(1,1) + X_1(1,2) \cdot t) \quad (X_2(1,1) + X_2(1,2) \cdot t) \quad (X_3(1,1) + X_3(1,2) \cdot t)];$$

Allegati B

```
c=(((G(1,1)-Pint(1,1))^2)+((G(1,2)-Pint(1,2))^2)+((G(1,3)-Pint(1,3))^2))^(1/2)
```

```
media_distanze=((a+b+c)/3);
```

```
dati_output=cat(1,Lm,media_distanze)
```

```
fid=fopen('shell_17153.txt','wt');
```

```
fprintf(fid,'%0.15f\n',dati_output);
```

```
fclose(fid);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%FINE%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

## Allegato C

### 6.2 Regio Decreto 16/11/1939 n. 2229

R. DECRETO-LEGGE 16 novembre 1939-XVIII,  
n. 2229 (Suppl. Ord. alla Gazzetta Ufficiale,  
n. 92 del 18 aprile 1940).

**Norme per l'esecuzione delle opere in con-  
glomerato cementizio semplice od armato.**

VITTORIO EMANUELE III

PER GRAZIA DI DIO E VOLONTÀ DELLA NAZIONE  
RE D'ITALIA E D'ALBANIA  
IMPERATORE D'ETIOPIA

Veduto l'art. 18 del R. decreto-legge 25 giugno  
1937-XV, n. 1114;

Veduto il R. decreto-legge 5 settembre 1938-XVI,  
n. 1787;

Udito il Consiglio dei Ministri;

Sulla proposta del Duce del Fascismo, Capo del  
Governo, di concerto coi Ministri per i lavori pubblici  
e per le corporazioni;

Abbiamo decretato e decretiamo:

Sono approvate e rese abilitatorie le appese norme,  
compilate dal Consiglio nazionale delle ricerche, per la  
esecuzione delle opere in conglomerato cementizio sem-  
plice od armato, le quali saranno emanate, in ordine  
Nostro, dal Duce del Fascismo, Capo del Governo,  
proponente.

Sono abrogate tutte le disposizioni contrarie o co-  
munque incompatibili con quelle del presente decreto,  
il quale entrerà in vigore nel 60° giorno dopo la sua  
pubblicazione.

Ordiniamo che il presente decreto, munito del sigillo  
dello Stato sia inserito nella raccolta ufficiale delle Leggi  
e dei decreti del Regno d'Italia, mandando a chiunque  
spetti di osservarlo e farlo osservare.

Dato a Roma, addì 16 novembre 1939-XVIII.

VITTORIO EMANUELE

MUSSOLINI - SERRAVALLE - RICCIO

Visto, il Guardasigilli: GRANDI

Registrato alla Corte dei conti, addì 29 febbraio  
1940-XVIII

Atti del Governo, registro 419, foglia 111 - MANCINI

Art. 16.

Il conglomerato prelevato in esemplari dagli impasti impiegati nella esecuzione delle opere deve preadunare, a 28 giorni di stagionatura, una resistenza cubica a pressione,  $\sigma_c$ , almeno tripla del carico di snervatura  $\sigma_s$  adottato nei calcoli; tale resistenza non deve però risultare mai inferiore a 120 kg/cm<sup>2</sup> per conglomerati di cemento normale, ed a 160 kg/cm<sup>2</sup> per conglomerati di cemento ad alta resistenza ed alluminoso.

Non raggiungendo a 28 giorni di stagionatura la resistenza richiesta, la prova dev'essere ripetuta a 60 giorni su altri provini cubici prelevati contemporaneamente ai primi.

Per i conglomerati di cemento alluminoso la prova può anche essere eseguita a stagionature inferiori a 28 giorni ferme restando però il rapporto minimo suddetto fra la resistenza cubica ed il carico di snervatura.

Qualora nella seconda prova la resistenza prescritta non sia raggiunta, il direttore dei lavori provvede, secondo i casi, alla sospensione dei lavori ed eventualmente al rafforzamento delle opere o alla loro demolizione.

Art. 17.

L'armatura del conglomerato è normalmente costituita con acciaio dolce (ossidato ferro omogeneo) oppure con acciaio semiduro o acciaio duro, in barre tonde prive di difetti, di trapezolatore, di bruciatore o di altre soluzioni di continuità.

La resistenza a trazione dell'armatura suddetta viene determinata, quando sia possibile, sui tendini stessi senza alcuna preparazione, o altrimenti su provette cilindriche preparate a freddo e in tutto conformi ai tipi normati stabiliti dalle norme vigenti all'inizio della costruzione, per le prove dei materiali ferrosi.

In entrambi i casi, la lunghezza utile per la misura dell'allungamento percentuale di rottura deve essere 10 volte il diametro del provino.

Devono ottenersi i seguenti risultati:

a) per l'acciaio dolce (ferro omogeneo): Carico di rottura per trazione compreso fra 42 a 50 kg/mm<sup>2</sup>,

limite di snervamento non inferiore a 23 kg/mm<sup>2</sup>, allungamento di rottura non inferiore al 20%.

Per le legature o stadi di pilastri può impiegarsi acciaio dolce non esente di rottura compreso fra 37 a 45 kg/mm<sup>2</sup>, senza fissare il limite inferiore di snervamento;

b) per l'acciaio semiduro: Carico di rottura per trazione compreso fra 50 e 60 kg/mm<sup>2</sup>, limite di snervamento non inferiore a 27 kg/mm<sup>2</sup>, allungamento di rottura non inferiore al 16%;

c) per l'acciaio duro: Carico di rottura per trazione compreso fra 60 e 70 kg/mm<sup>2</sup>, limite di snervamento non inferiore a 31 kg/mm<sup>2</sup>, allungamento di rottura non inferiore al 14%.

Un tendine di acciaio dolce riscaldato al colore rosso chiaro ed immerso nell'acqua a temperatura da 10° a 20° C., deve potersi piegare su se stesso in modo da formare un cappio, il cui occhio abbia un diametro uguale al diametro del tendino, senza che si producano fenditure.

Un tendine di acciaio deve potersi piegare a freddo ad U, senza che si producano fenditure, attorne ad un cilindro, il cui diametro sia uguale al suo diametro per l'acciaio dolce, al quintuplo del suo diametro per l'acciaio semiduro e duro.

Qualora una prova fallisca, si devono ripetere entrambe le prove su due campioni prelevati dallo stesso gruppo di 1000 pezzi, e, fallendo una qualunque di queste, il gruppo viene rifiutato.

Capo III.

Norme di esecuzione.

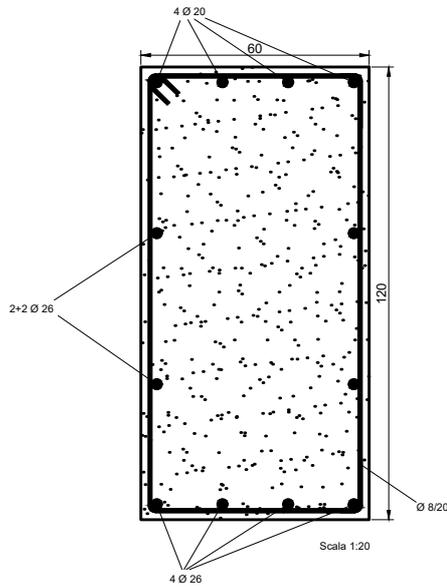
Art. 18.

Il carico di vicinanza del conglomerato, nella sollecitazione di pressione semplice, deve assumersi come segue:

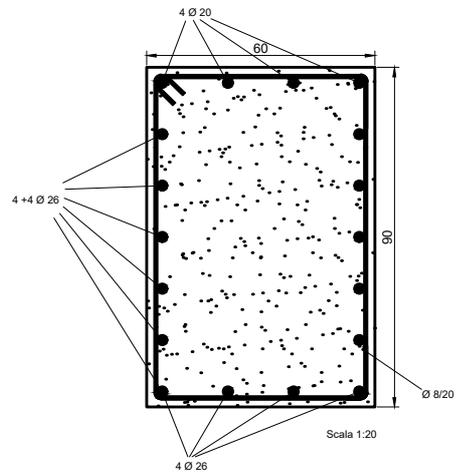
## **Allegati D**

- **Abaco delle sezioni verificate:      Tavola\_01**
- **Schema proposta di intervento:    Tavola\_02**

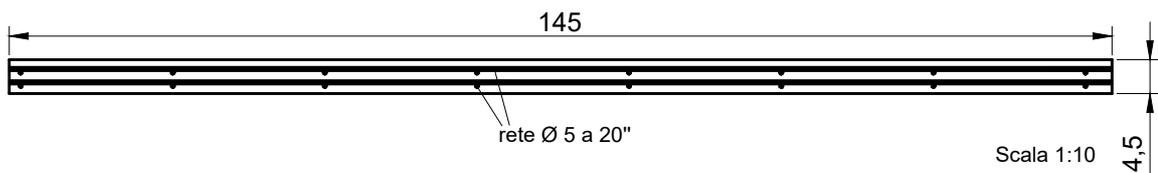
Sezione mezzeria arco lato lungo



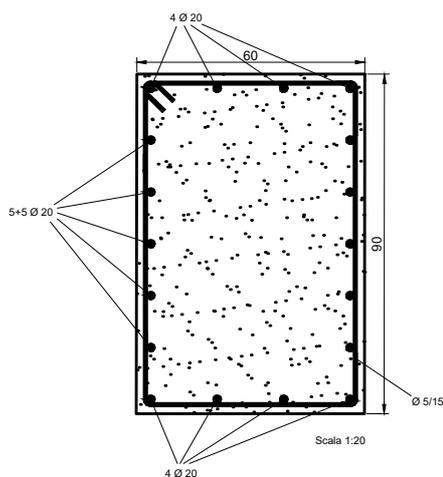
Sezione base arco lato lungo



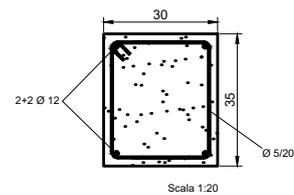
Sezione tavellone in ferrocemento



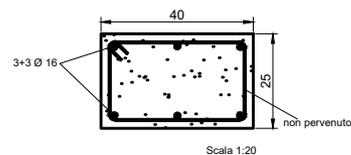
Sezione base arco lato corto



Sezione 5° pilastro pensilina lato lungo



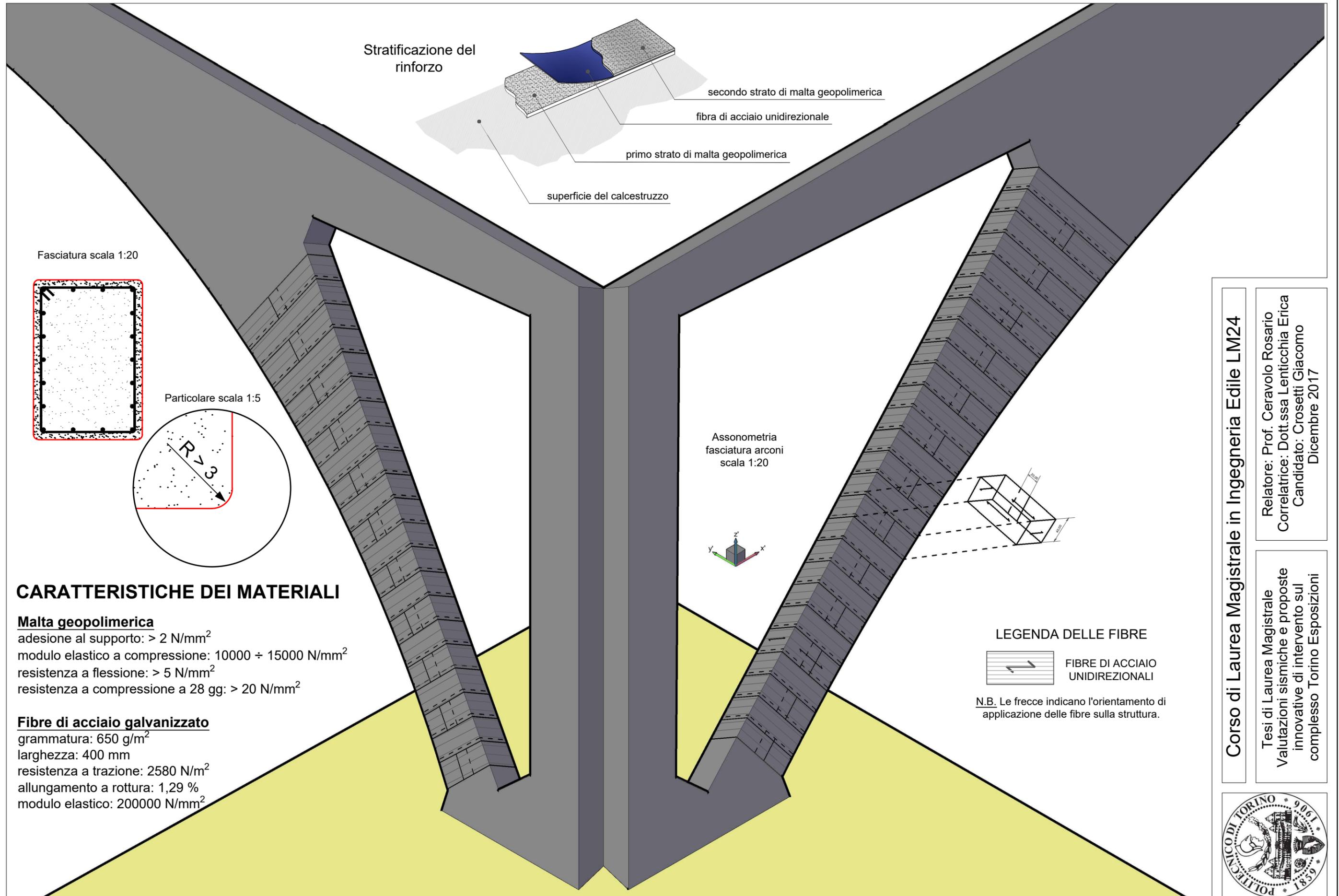
Sezione nervatura volta



Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile LM24

Tesi di Laurea Magistrale  
Valutazioni sismiche e proposte  
innovative di intervento sul  
complesso Torino Esposizioni

Relatore: Prof. Ceravolo Rosario  
Correlatrice: Dott.ssa Lenticchia Erica  
Candidato: Crosetti Giacomo  
Dicembre 2017



**CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

**Malta geopolimerica**

adesione al supporto:  $> 2 \text{ N/mm}^2$   
 modulo elastico a compressione:  $10000 \div 15000 \text{ N/mm}^2$   
 resistenza a flessione:  $> 5 \text{ N/mm}^2$   
 resistenza a compressione a 28 gg:  $> 20 \text{ N/mm}^2$

**Fibre di acciaio galvanizzato**

grammatura:  $650 \text{ g/m}^2$   
 larghezza:  $400 \text{ mm}$   
 resistenza a trazione:  $2580 \text{ N/m}^2$   
 allungamento a rottura:  $1,29 \%$   
 modulo elastico:  $200000 \text{ N/mm}^2$

**LEGENDA DELLE FIBRE**



N.B. Le frecce indicano l'orientamento di applicazione delle fibre sulla struttura.

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile LM24

Relatore: Prof. Ceravolo Rosario  
 Correlatrice: Dott.ssa Lenticchia Erica  
 Candidato: Crosetti Giacomo  
 Dicembre 2017

Tesi di Laurea Magistrale  
 Valutazioni sismiche e proposte  
 innovative di intervento sul  
 complesso Torino Esposizioni

