

**STRUTTURA METALLICA PER VANO CORSA IMPIANTO
ELEVATORE**

**OPERA FINALIZZATA ALL'ABBATTIMENTO DELLE BARRIERE
ARCHITETTONICHE**

DITTA COSTRUTTRICE:	DEMO
RIFERIMENTO:	DEMO
LUOGO DI INSTALLAZIONE:	Via - 00 - AA
PROGETTO N:	00000

IL PRESENTE DOCUMENTO CONTIENE I FASCICOLI SOTTO RIPORTATI:

- **B - RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA E RELAZIONE SUI MATERIALI**
- **C1 - RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE E CALCOLI STRUTTURALI(*)**
- **D1 - PROGETTO STRUTTURALE (ELABORATI ESECUTIVI STRUTTURALI**
- **F - PIANO DI MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE DELL'OPERA**

(*) Il FASCICOLO DEI CALCOLI STRUTTURALI su carta è allegato in forma ridotta.

TOTALE FASCICOLI: 4

www.feme.biz

Indice

1	Relazione tecnica illustrativa sulle opere da eseguire	1
1.1	Generalità	1
1.2	Analisi fenomenologica ed interpretazione tecnica	2
1.3	L'oscillazione sismica di riferimento	3
1.4	Caratteristiche generali dell'impianto elevatore	4
1.5	La struttura metallica nel sito di installazione	4
1.6	Considerazioni sulla tipologia di intervento	5
2	Relazione sulla qualità e dosatura dei materiali	1
2.1	Struttura metallica	1
2.1.1	Caratteristiche dei materiali	1
2.1.2	Caratteristiche dei profili metallici	2
2.1.3	Considerazioni costruttive generali	2
2.2	Platea di fondazione	3
2.2.1	Caratteristiche dei materiali	3
3	Schemi strutturali posti alla base dei calcoli	1
3.1	Diagrammi dei nodi e degli elementi della struttura	1
3.2	Orientamento in pianta	8
4	Spettri di risposta	1
5	Relazione di calcolo della struttura	1
5.1	Generalità	1
5.2	Caratteristiche generali dell'impianto elevatore	1
5.3	Azioni applicate e parametri strutturali	2
5.4	Limitazioni meccaniche strutturali	3
5.5	Azioni sulla SMVC - Combinazioni di carico	3
5.6	Considerazioni sui carichi agenti sulla platea di fondazione	5
5.7	Il modello strutturale	5
5.7.1	Costruzione della matrice di rigidezza strutturale e sistemi di riferimento	6
5.8	Vincoli esterni ed interni.	8
5.8.1	Vincoli esterni cedevoli	8
5.8.2	Vincoli interni - Parametro di svincolo	8
5.9	Le azioni esterne	8
5.9.1	Peso della struttura e dei tamponamenti	8
5.9.2	Paracadute	8
5.10	Analisi strutturale	10
5.10.1	Classificazione delle sezioni e calcolo della capacità resistente	10
5.11	Metodo di analisi globale ed effetti del secondo ordine	16
5.12	Verifiche agli stati limite ultimi	16

5.12.1	Resistenza di calcolo	16
5.12.2	Resistenza delle membrature	17
5.12.3	Stabilità delle membrature	18
5.13	Verifiche agli stati limite di esercizio	20
5.13.1	Spostamenti verticali	21
5.13.2	Spostamenti laterali	24
5.14	Progettazione per azioni sismiche	28
5.14.1	Metodo di analisi e modellizzazione	28
5.14.2	Verifica agli Stati Limite Ultimi	32
5.14.3	Verifica agli Stati Limite di Danno (SLD) e di Operatività (SLO)	32
5.15	Unioni	33
5.15.1	Unioni Bullonate	33
5.15.2	Considerazioni sulla direzione dei carichi	35
5.15.3	Letture delle tabelle di verifica	35
5.16	Verifica norma EN 81-1/2:2010	37
5.17	Conclusioni	38
6	Fascicolo dei calcoli	1
6.1	Dati di input	1
6.2	Riferimenti normativi e esito verifiche	2
6.3	Spostamenti	2
6.4	Caratteristiche di resistenza	3
6.5	Sollecitazioni	4
6.6	Verifiche SLU - Resistenza	6
6.7	Verifiche SLU - Stabilità	7
6.8	Verifiche SLE - Spostamenti verticali	8
6.9	Verifiche SLE - Spostamenti laterali	11
6.9.1	Spostamenti laterali massimi	11
6.9.2	Spostamenti laterali interpiani	12
6.10	Verifiche SLD	12
6.10.1	Spostamenti laterali interpiani	12
6.11	Unioni	14
6.12	Verifica EN 81-2:2010	16
6.13	Azioni sui vincoli strutturali	18
6.13.1	Azioni alla base dei montanti	18
6.13.2	Azioni sugli ancoraggi all'edificio	19
6.13.3	Spostamenti imposti	23
7	Configurazioni deformate	1
8	Rappresentazione grafica delle principali caratteristiche di sollecitazione (N, V, Mf)	1
9	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati e relazione specifica (D.M. 17.01.2018 §10.2)	1
9.1	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati ed assunzione di responsabilità	1
9.2	Relazione sul software per il calcolo automatico delle strutture (art. 10.2 del D.M. 17/01/2018)	2
9.3	Trave di Eulero-Bernoulli incatrata su un lato	3
9.3.1	Analisi statica - soluzione esatta	4
9.3.2	Analisi statica - soluzione FEME	4
9.3.3	Analisi dinamica - soluzione esatta	6
9.3.4	Analisi dinamica - soluzione FEME	9

9.4	Carico critico per una trave incastrata su un lato	9
9.5	Area efficace di una sezione	10
9.5.1	Caratteristiche geometriche lorde	11
9.5.2	Classificazione della sezione	12
9.5.3	Calcolo dell'area efficace	12
10	Strutturale	1
11	Disegni dei particolari costruttivi degli elementi portanti	1
12	Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera	1
12.1	Generalità	1
12.2	Manutenzione delle strutture metalliche	1
12.2.1	Manutenzione della protezione delle strutture zincate	1
12.2.2	Manutenzione della protezione delle strutture verniciate	1
12.3	Manutenzione ordinaria	1
12.4	Manutenzione straordinaria	2
12.5	Note conclusive	2

www.feme.biz

www.feme.biz

**STRUTTURA METALLICA PER VANO CORSA IMPIANTO
ELEVATORE**

**OPERA FINALIZZATA ALL'ABBATTIMENTO DELLE BARRIERE
ARCHITETTONICHE**

DITTA COSTRUTTRICE:	DEMO
RIFERIMENTO:	DEMO
LUOGO DI INSTALLAZIONE:	Via - 00 - AA
PROGETTO N:	00000

IL PRESENTE DOCUMENTO CONTIENE I FASCICOLI SOTTO RIPORTATI:

- **B - RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA E RELAZIONE SUI MATERIALI**

www.feme.biz

1. Relazione tecnica illustrativa sulle opere da eseguire

1.1 Generalità

Oggetto della presente relazione tecnica di calcolo è una Struttura Metallica dedicata a Vano Corsa (SMVC nel seguito), adibita al sostegno di un impianto elevatore (ascensore o piattaforma elevatrice), dei tamponamenti e della copertura.

La SMVC è legata all'edificio cui l'impianto elevatore è dedicato; in prima approssimazione escludendo la massa mobile della cabina (e dei relativi accessori) e la massa delle guide, la torre metallica si presenta vuota al suo interno e poggia su una platea di fondazione propria. Le ipotesi alla base del calcolo statico e statico equivalente sono le seguenti:

- i carichi statici *verticali* agenti sulla SMVC derivano dal peso proprio e da quello dei tamponamenti; in aggiunta possono essere presenti carichi di manutenzione e montaggio applicati a ganci predisposti presenti al colmo della testata; in ultimo possono essere presenti i carichi da neve (nel caso di strutture installate all'esterno in zone esposte; considerando l'esiguità della superficie esposta questo carico viene generalmente trascurato).
- i carichi statici *orizzontali* agenti sulla torre derivano dall'intervento del paracadute, attraverso le guide e le relative staffe di ancoraggio alla SMVC; in aggiunta, nel caso di strutture esterne esposte, è considerato anche il carico da vento.
- i carichi statici equivalenti *orizzontali* agenti sulla torre derivano dalle azioni sismiche proporzionali alle masse degli elementi strutturali e non strutturali della SMVC.

Il compito della SMVC è dunque limitato al trasferimento delle sollecitazioni esterne (vento e sisma) ed interne (impianto elevatore ed accessori) alle strutture portanti dell'edificio cui l'impianto è dedicato ed alla platea di fondazione.

Per il calcolo delle azioni sismiche agenti sulla struttura è stato utilizzato l'approccio dinamico lineare definito secondo la normativa. Le 2 più importanti ipotesi alla base del calcolo sismico che verrà esposto nel seguito sono le seguenti ¹:

- in caso di evento sismico la SMVC seguirà, in termini di spostamento, le medesime vicissitudini dell'edificio cui la SMVC stessa è legata;
- in caso di evento sismico il comportamento dell'edificio non subisce modifiche apprezzabili dovute l'introduzione del nuovo elemento (la SMVC) all'interno o in adiacenza ad esso.

La previsione della reale oscillazione di un edificio esistente (e, di conseguenza, della SMVC) a seguito di un evento sismico è molto complessa e dipende da molteplici parametri. Questa valutazione richiederebbe già da sé indagini molto approfondite, sondaggi, rilievo e rimodellazione matematica dell'edificio e delle sue fondazioni; inoltre il gran numero di ipotesi che occorre comunque assumere alla base del calcolo condurrebbe inevitabilmente a risultati spesso molto lontani dalla realtà (con costi e tempi di verifica estremamente elevati).

Tuttavia, come verrà esposto nel seguito, una particolare interpretazione del *giunto tecnico* potrà, almeno in prima approssimazione, essere d'aiuto.

¹Le 2 ipotesi esposte sono certamente tanto più verificate quanto più la struttura metallica è leggera.

1.2 Analisi fenomenologica ed interpretazione tecnica

L'analisi numerica che verrà svolta prende spunto dalla osservazione di ciò che potrebbe accadere alla SMVC sia durante il normale esercizio dell'impianto sia durante un evento sismico.

Al verificarsi di un evento tale da mettere in azione il dispositivo paracadute, la struttura risulta sollecitata da forze orizzontali applicate in corrispondenza delle traverse più vicine ai pattini di cabina. Esaurito l'effetto impulsivo della presa (istantanea o progressiva) del paracadute sulle guide (ed il relativo trasferimento delle sollecitazioni dalle guide alla torre metallica), il sistema si presenterà come un insieme unico SMVC + cabina (a pieno carico) + accessori.

Se l'evento che ha azionato il paracadute è di natura sismica, il sistema subisce delle sollecitazioni dovute all'accelerazione del suolo e allo spostamento dell'edificio a cui la struttura è connessa.

Gli effetti dovuti all'azionamento del paracadute e all'evento sismico possono essere analizzati separatamente in quanto l'evento sismico ha generalmente una durata maggiore rispetto alla presa del paracadute².

I fenomeni fin qui descritti sono modellizzati attraverso l'applicazione alla struttura delle seguenti sollecitazioni:

- sollecitazioni verticali legate al peso degli elementi strutturali e delle tamponature del vano corsa³;
- sollecitazioni verticali applicate al colmo della testata dovute ad eventuali carichi esclusivi di montaggio e manutenzione (se presenti);
- sollecitazioni orizzontali dovute alla presa del paracadute⁴. In via conservativa, tali sollecitazioni sono applicate direttamente alle traverse della SMVC (in più punti distinti) in corrispondenza delle traverse più prossime ai pattini della cabina.
- sollecitazioni orizzontali legate al vento (presenti solo per strutture esterne esposte)⁵;
- sollecitazioni orizzontali agenti sulla struttura in presenza di un evento sismico. Queste sono ricavate da un'analisi dinamica lineare effettuata sul modello strutturale, tenendo conto delle indicazioni date dalla normativa di riferimento. In particolare, sono determinati i modi di vibrare della struttura (analisi modale) e, per ciascuno di essi, sono calcolati gli effetti dell'azione sismica proporzionali allo spettro di risposta di progetto e ai fattori di partecipazione modale relativi ai singoli modi. Infine, gli effetti dovuti ai modi di vibrare vengono combinati tra loro secondo normativa. A tale proposito, sono considerati i modi la cui massa partecipante sia superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%.

La massa sismica della cabina è modellizzata attraverso masse concentrate ai nodi del modello in corrispondenza dei punti di presa del paracadute posti all'ultimo piano;

Infine, l'effetto dovuto al movimento dell'edificio al quale è connessa la SMVC durante il sisma è considerato imponendo ai nodi vincolati all'edificio degli spostamenti di ampiezza pari all'oscillazione sismica di riferimento calcolata alla quota dei nodi.

Le forze dovute all'azionamento del paracadute e quelle sismiche dovute alla massa della cabina sono applicate in particolari punti del modello, in modo tale da ottenere due condizioni caratteristiche:

²L'intervento di un paracadute a presa istantanea riduce la velocità della cabina a 0 m/s in pochi decimi di secondo, mentre l'intervento di un paracadute a presa progressiva riduce la velocità della cabina a 0 m/s in pochi secondi. Un evento sismico in grado di provocare l'intervento del paracadute ha invece generalmente una durata più lunga, considerando anche il tempo di smorzamento successivo al picco massimo.

³Il peso proprio della cabina (completa di portata massima e di accessori) non è considerato perchè, nelle condizioni di normale esercizio, non è applicato direttamente alla struttura.

⁴Le sollecitazioni durante il normale esercizio dell'impianto sono inferiori a quelle che si manifestano alla presa del paracadute.

⁵Le sollecitazioni legate alla neve (solo per strutture esterne esposte) sono trascurate, come accennato, in forza della modesta superficie esposta al fenomeno.

- condizione di massimo sfruttamento per gli elementi strutturali;
- condizione di massimo spostamento sulle guide;

La ricerca delle due condizioni sopra elencate avviene attraverso lo spostamento delle forze dovute al paracadute lungo l'altezza del modello, in corrispondenza dei nodi di congiunzione tra gli elementi che modellizzano le guide di scorrimento e le traverse strutturali, in modo tale da simulare il movimento della cabina. Per ogni configurazione delle forze sono calcolati gli spostamenti dei nodi di applicazione e lo sfruttamento strutturale e sono individuati i loro valori massimi. Le due configurazioni sono poi utilizzate per le verifiche imposte dalla normativa. In particolare, la condizione di massimo sfruttamento viene impiegata per le verifiche agli stati limite e per l'analisi sismica, mentre la condizione di massimo spostamento è utile per verificare le limitazioni sulla freccia delle guide dettate dalla norma UNI EN 81-2.

1.3 L'oscillazione sismica di riferimento

Nella fase di analisi sismica della struttura, oltre all'applicazione delle forze sismiche dovute all'accelerazione al suolo e proporzionali ai modi propri strutturali, sono stati imposti degli spostamenti ai nodi di ancoraggio all'edificio per simulare il movimento di quest'ultimo sotto l'azione sismica. In assenza di dati certi (risultanti da una analisi sismica dedicata) l'oscillazione di riferimento della SMVC, imposta dall'edificio alla torre metallica, può essere calcolata a partire dalla valutazione del *giunto tecnico*, inteso, in questo caso, non come lo spazio vuoto da lasciare tra 2 costruzioni contigue per evitarne il reciproco martellamento, bensì come lo spostamento massimo sp_{max} che l'edificio *dovrebbe* manifestare sotto sisma, pari (come suggerito dal D.M. Infrastrutture 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”⁶ § 7.2.1⁷) ad $1/100$ dell'altezza dell'edificio, misurata dal piano di fondazione e moltiplicata per $a_g S/g$.

In termini numerici:

$$sp_{max} = \frac{1}{100} H_{edificio} \frac{a_g S}{g} \quad (1.1)$$

Gli spostamenti $sp(Z)$ da imporre ai nodi di connessione tra la struttura metallica e l'edificio sono quindi dati da:

$$sp(Z) = \frac{1}{100} Z \frac{a_g S}{g} \quad (1.2)$$

dove:

- Z è la quota alla quale viene calcolato lo spostamento;
- a_g è la accelerazione orizzontale massima al suolo indotta dal sisma⁸;
- $S = S_S S_T$ è un coefficiente di amplificazione sismica che tiene conto delle caratteristiche stratigrafiche (S_S) e topografiche (S_T) del terreno;
- g è l'accelerazione di gravità.

Con le ipotesi esposte lo studio che verrà presentato nel seguito consiste nel valutare il comportamento di una struttura metallica alla quale siano stati imposti lungo l'altezza, nelle direzioni principali X ed Y, gli spostamenti $sp(Z)$ sopra calcolati.

In relazione ai parametri dell'impianto elevatore, possono presentarsi 2 casi distinti:

1. l'altezza della torre metallica è pari o minore di quella dell'edificio: in tal caso la quota alla quale si manifesta lo spostamento massimo è $sp(Z_{max}) = fossa + corsa + testata$;

⁶Più brevemente richiamato nel seguito come “D.M. Infrastrutture”, oppure “D.M 17.01.2018”, oppure “D.M. 2018”, oppure NTC 2018

⁷D.M. 17.01.2018 § 7.2.1 - Distanza tra costruzioni contigue - “... Qualora non si possano eseguire calcoli specifici, lo spostamento massimo di una costruzione non isolata alla base può essere stimato in $1/100$ dell'altezza della costruzione moltiplicata per $a_g S/g$ ”.

Con buona approssimazione la SMVC (legata alla costruzione esistente) subirà lo stesso spostamento e dovrà essere verificata in tali condizioni di deformazione.

⁸Il valore di a_g presente nelle 1.1 e 5.33 è espresso in m/s^2 , mentre nell'All. B al D.M. 2008 (per i valori dei parametri sismici il testo del D.M. 2018 rimanda all'allegato B del D.M. 2008) è espresso in $g/10$.

2. l'altezza della torre metallica è maggiore di quella dell'edificio (torri con testata libera, ovvero sia sporgente dal colmo dell'edificio): in tal caso la quota alla quale si manifesta lo spostamento massimo è $sp(Z_{max}) = \text{fossa} + \text{corsa}$.

Nei capitoli denominati "Relazione di calcolo della struttura" e "Fascicolo dei calcoli" sono contenute considerazioni più particolari sull'analisi sismica eseguita e i risultati ottenuti.

L'installazione della torre metallica rappresenta un intervento strutturale che interessa una porzione limitata dell'edificio. Inoltre, la variazione di massa e di rigidità dell'edificio, a seguito dell'installazione della SMVC, è certamente di modesta entità. Nonostante ciò rimane facoltà del Genio Civile di competenza territoriale richiedere la verifica sismica dell'intero edificio esistente.

1.4 Caratteristiche generali dell'impianto elevatore

Sulla base dei dati forniti al progettista le principali caratteristiche meccaniche dell'impianto elevatore sono quelle riportate nella Tab. 1.1 ("ND" = valore non disponibile; "NP" = valore non pertinente).

Tipo impianto	Oleodinamico in taglia
Portata	250 kg
Capienza	3 persone
Corsa	6700 mm
Fossa	180 mm
Testata	2500 mm
Fermate	3
Velocità	0.15 m/s
Scartamento guide	510 mm
Passo ancoraggio staffe guide	800-1250 (lato meccanica) mm
Guide cabina dir. X	310 daN
Guide cabina dir. Y	40 daN
Guide cabina dir. Z	910 daN
Guide contropeso dir. X	NP daN
Guide contropeso dir. Y	NP daN
Guide contropeso dir. Z	NP daN
Ammortizzatori cabina	ND daN
Ammortizzatori contropeso	NP daN
Intervento della valvola di blocco	1270 daN
Ganci montaggio e manutenzione	NP daN

Tab. 1.1: Caratteristiche generali dell'impianto elevatore
(ND: valore non disponibile; NP: valore non pertinente)

1.5 La struttura metallica nel sito di installazione

La struttura metallica verrà installata all'interno di un edificio sito in Via - 00 - AA e presenta le seguenti dimensioni esterne complessive: (864 × 1595 × 9320) mm; il passo delle staffe guide richiesto dalla SMVC coincide con il passo massimo di ancoraggio delle staffe guide (800-1250 mm) richiesto dalla meccanica d'impianto⁹.

⁹Si intende genericamente con *lato meccanica* quello che riceve le spinte orizzontali delle guide; negli impianti con arcata laterale il lato di ancoraggio delle guide è (generalmente) 1; diversamente, nel caso di arcata centrale, i lati di ancoraggio guide sono 2, da parti opposte.

Per la struttura ed il sito in esame, allo stato limite SLV, risulta: $a_g = 1.848 \text{ m/s}^2$; $S = S_S \cdot S_T = 1.419 \cdot 1.000 = 1.419$. Lo spostamento imposto alla SMVC nel/i nodo/i di connessione posto/i alla quota più elevata è pari a 24.91 mm.

I montanti della torre ancorati direttamente alle strutture portanti dell'edificio possono essere 1 (raramente) 2, 3 o 4. Il colmo della testata (porzione della SMVC al di sopra dell'ultimo sbarco) può essere anch'esso vincolato su 1 (raramente), 2, 3 o 4 montanti, oppure libero (0 vincoli).

Sulla base dei dati forniti al progettista nel caso in esame la configurazione prevede:

- montanti della SMVC ancorati direttamente all'edificio¹⁰: 4;
- montanti del colmo testata ancorati direttamente all'edificio: 2.

1.6 Considerazioni sulla tipologia di intervento

Le strutture metalliche che costituiscono il vano di corsa di un impianto elevatore (ascensore o piattaforma elevatrice) possono essere realizzate in 2 modi distinti:

- strutture autoportanti, ovvero strutture che, indipendentemente dagli edifici cui sono dedicate, sopportano da sole tutti i carichi (statici, dinamici, sismici, da vento, etc. . .), contenendo inoltre gli spostamenti sotto carico al di sotto dei limiti consentiti dalla meccanica d'impianto¹¹;
- strutture legate all'edificio esistente.

In quest'ultimo caso la realizzazione della SMVC può essere considerata nuova costruzione che serve un edificio esistente in qualità di vano tecnico o impianto tecnologico.

Inoltre, le opere che realizzano il collegamento tra la SMVC e l'edificio esistente non richiedono la verifica di sicurezza globale dell'edificio in quanto non rientrano nella casistica riportata al cap.8 del D.M. Infrastrutture.

In particolare, al p.to 8.3 si legge:

“La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti situazioni:

- (*omissis*);
- esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità;
- (*omissis*).”

Sebbene, l'opera in questione sembri rientrare nel caso descritto dal punto delle NTC sopra riportato, a parere di chi scrive la realizzazione di una SMVC internamente od esternamente ad un edificio può essere considerata un intervento non dichiaratamente strutturale, che interagisce in parte con elementi aventi funzione strutturale (generalmente i solai dell'edificio le rampe delle scale, se portanti) ma che non riduce, in modo consistente, la capacità (portante) né modifica, in modo consistente, la rigidità dell'edificio.

A questo proposito, il D.M. Infrastrutture non quantifica, in questa sede, il termine “consistente” sopra riportato; tuttavia, trattando in altra sede (§ 7.2.3) di elementi strutturali secondari, quale quello in argomento, stabilisce che il loro contributo alla rigidità totale sotto azioni orizzontali non debba superare il 15% della analoga rigidità degli elementi principali.

¹⁰Come verrà descritto nel seguito ad esempio nel caso di torri disposte in facciata (2 montanti ancorati all'edificio) possono talvolta essere utilizzati sistemi di irrigidimento e contenimento delle oscillazioni (staffe laterali, anelli) che legano *indirettamente* i montanti lontani dall'edificio all'edificio stesso, riducendo l'oscillazione della SMVC.

¹¹Trattandosi di fatto di strutture snelle, non appena l'altezza diviene significativa, per la realizzazione è richiesto l'impiego di profili molto robusti, controventature su tutti i lati della torre, adeguato dimensionamento del plinto di fondazione per impedire il ribaltamento della struttura (15 – 20 m³ di c.a. già per strutture di media altezza); per evitare fenomeni di martellamento reciproco tra edificio ed SMVC vanno inoltre valutate e previste le distanze di rispetto (giunto tecnico) e la realizzazione di passerelle scorrevoli per l'accesso e lo sbarco dalla cabina (quanto finora descritto spesso determina, già da sé, l'irrealizzabilità in vano scala di un impianto elevatore, con conseguente impossibilità di abbattimento delle barriere architettoniche ivi presenti).

A titolo esemplificativo non esaustivo sono stati eseguiti separatamente degli studi comparativi su SMVC standard (misure esterne $1.4 \times 1.4 \times h = 12.5$ m) realizzate all'interno di edifici standard in c.a. (misure esterne $12 \times 12 \times h = 14$ m): il risultato di queste analisi numeriche ha evidenziato come le forze sismiche e le rigidezze indotte dall'inserimento della struttura in acciaio abbiano comportato una variazione prossima all'1% della forza sismica e della rigidezza originaria dell'edificio; in aggiunta, la simulazione ha evidenziato che anche il rapporto tra le masse è, nell'esempio riportato, prossimo all'1%.

Inoltre, l'inserimento di una SMVC non comporta incremento dei carichi verticali sui solai dell'edificio, dal momento che, come sopra descritto, tutte le azioni verticali dell'impianto elevatore si scaricano direttamente sul fondo fossa.

Dunque, nelle condizioni sopra ipotizzate, l'inserimento di una SMVC non richiede, di per sé, una valutazione di sicurezza dell'intero edificio esistente.

Ciò premesso la struttura descritta nel seguito **deve essere legata all'edificio** cui la struttura stessa è dedicata.

A tal proposito si può fare riferimento alla Delibera Giunta Regionale n°606 del 21.06.2010 del comitato Tecnico Scientifico in materia di rischio sismico della Regione Toscana "Orientamenti interpretativi in merito a interventi locali o di riparazione in edifici esistenti" la quale, a proposito della realizzazione di scale esterne e impianti ascensori, afferma esplicitamente che "ai fini della trasmissione delle azioni orizzontali, sarà possibile ancorare tali manufatti alle strutture esistenti, senza procedere a verifiche globali (miglioramento o adeguamento) per l'edificio esistente. Gli effetti reciprocamente trasmessi devono essere sostanzialmente trascurabili sia in termini di massa che di rigidezza. Gli ancoraggi dovranno comunque essere correttamente dimensionati."

La stabilità strutturale della SMVC rimane condizionata alla stabilità strutturale dell'edificio cui essa è dedicata: in caso di crollo parziale o totale dell'edificio, o in caso di oscillazioni superiori a quelle valutate e descritte in questa sede, o qualora venisse a mancare il legame con l'edificio, non è possibile garantire la stabilità strutturale e/o l'integrità della SMVC.

Nel caso in cui venisse svolta una verifica sismica dedicata dell'edificio il cui risultato fornisse oscillazioni superiori a quelle sopra indicate e poste in questa sede come ipotesi iniziali di calcolo, occorrerà darne comunicazione al progettista che provvederà ad eseguire nuove calcolazioni ed a fornire nuovi risultati.

Le eventuali verifiche sismiche sopra menzionate (relative all'edificio esistente) esulano espressamente dalla presente relazione tecnica di calcolo.

In caso di sisma la SMVC reagirà comunque entro il limite della propria elasticità; oltre tale limite la SMVC potrà manifestare zone di incrudimento e di plasticizzazione; potranno manifestarsi deformazioni tali da compromettere il corretto funzionamento dell'impianto elevatore: in tal caso occorrerà porre immediatamente fuori servizio l'impianto e procedere alla verifica di tutti gli elementi e di tutte le giunzioni, prevedendone la sostituzione parziale o integrale. La tamponatura del vano corsa (in vetro di sicurezza o pannelli) e la meccanica d'impianto potranno subire danni tali da richiederne la sostituzione parziale o totale.

La SMVC descritta nel seguito non è idonea all'impiego in edifici dotati di supporti/giunti antisismici.

Nel caso in cui l'installazione della SMVC rientri in una ristrutturazione sostanziale o completa dell'edificio, l'intervento diviene, nel suo complesso, dichiaratamente strutturale ed occorre procedere alla valutazione della sicurezza dell'edificio esistente, come richiesto dal D.M 17.01.2018.

2. Relazione sulla qualità e dosatura dei materiali

2.1 Struttura metallica

2.1.1 Caratteristiche dei materiali

Nella Tab. 2.1 e nella Tab. 2.2 si riportano, rispettivamente, le caratteristiche minime richieste ai materiali impiegati, ai collegamenti tra gli elementi in acciaio ed al trattamento superficiale delle superfici metalliche.

acciaio tipo: S235JR			
E	modulo di elasticità normale (Young)	210000	MPa
ν	coefficiente di Poisson	0.3	-
γ	peso specifico	78.5	kN/m ³
f_{yk}	tensione caratteristica di snervamento	235	MPa
f_{tk}	tensione caratteristica di rottura	360	MPa
f_d	resistenza di calcolo	235	MPa
σ_{adm}	tensione ammissibile	160	MPa

acciaio tipo: S275JR			
E	modulo di elasticità normale (Young)	210000	MPa
ν	coefficiente di Poisson	0.3	-
γ	peso specifico	78.5	kN/m ³
f_{yk}	tensione caratteristica di snervamento	275	MPa
f_{tk}	tensione caratteristica di rottura	420	MPa
f_d	resistenza di calcolo	275	MPa
σ_{adm}	tensione ammissibile	190	MPa

Tab. 2.1: Caratteristiche meccaniche minime dell'acciaio per profilati.

viti	classe 8.8 secondo UNI EN ISO 898-1: 2001
dadi	classe 8.8 secondo UNI EN ISO 20898-2: 2004
rosette	acciaio C50 secondo UNI EN 10083-2: 2006 temprato e rinvenuto HRC 32/40
piastrine	acciaio C50 secondo UNI EN 10083-2: 2006 temprato e rinvenuto HRC 32/40
saldature	il processo di saldatura dovrà risultare conforme a quanto riportato al §11.3.4.5 del D.M. Infrastrutture 17.01.2018 e s.m.i.

Tab. 2.2: Collegamenti meccanici tra gli elementi in acciaio

Le unioni bullonate tra gli elementi devono essere realizzate mediante bulloni serrati con chiave dinamometrica. I valori della coppia di serraggio in funzione del diametro e della classe dei bulloni sono riportati nelle tabelle 4.2.XVI e 4.2.XVII delle NTC 2018.

Trattamento superficiale minimo delle superfici metalliche: Classe C - $\mu= 0.3$; superfici pulite mediante spazzolatura o alla fiamma esenti da incrostazioni di ruggine.

profilo traverse orizzontali	lato A T30003	lato B T30001	lato C T30001	lato D T30001
profilo traverse chiusura della testata	lato A T30003	lato B T30001	lato C T30001	lato D T30001
profilo montanti verticali	A/B M40001	B/C M40018	C/D M40018	D/A M40001
profilo controventi copertura	CTV150			
profilo guide di scorrimento	T70x70x8			

Tab. 2.3: Profili utilizzati

cod. RELTEC	cod. AZIENDALE	DESCRIZIONE BREVE
CTV150		controvento equiv. Ø14 - RET30x5
M40001	DEMO	montante 40/10
	DEMO	
	DEMO	
M40018	DEMO	montante 40/10
T30001	DEMO	traversa 30/10
T30003	DEMO	traversa 30/10 - 2 rinforzi 30/10
T70x70x8	T70	guida 70x70x8

Tab. 2.4: Corrispondenze codici profili.

I profili devono essere protetti dagli agenti atmosferici e dalla corrosione. Se di spessore inferiore a 4 mm le superfici vanno zincate.

Gli spessori di tutti materiali impiegati devono risultare conformi al p.to 4.2.9 del D.M. 17.01.2018 e s.m.i..

2.1.2 Caratteristiche dei profili metallici

La struttura metallica verrà realizzata con i profili riportati nella Tab. 2.3.

Nella Tab. 2.4 sono riportate, per comodità di consultazione, le corrispondenze tra i codici alfanumerici esecutivi dei profili metallici aziendali (cod. AZIENDALE) ed i codici alfanumerici adottati nella presente relazione tecnica (cod. RELTEC)

Le caratteristiche geometriche e meccaniche dei profili impiegati e sopra richiamati sono raccolte e descritte nella sezione: “*Disegni dei particolari costruttivi delle strutture portanti*”, o disponibili nella letteratura tecnica.

2.1.3 Considerazioni costruttive generali

In via del tutto generale si può affermare che:

- nel caso di strutture esterne ancorate all’edificio solo su 2 montanti il lato opposto all’edificio va sempre controventato (ad ×) per tutta l’altezza della struttura;
- nel caso la testata sia libera (ultima connessione con l’edificio alla quota dell’ultimo sbarco) è opportuno predisporre i controventi (ad ×) sui 4 lati della struttura, a partire dalla quota dell’ultimo solaio (compresa) sino al colmo.

In alternativa alla controventatura ad × – e con la stessa finalità – è possibile impiegare delle staffe laterali di irrigidimento disponendole in corrispondenza dei solai dell’edificio, da una sola parte, da entrambe le parti o tutt’attorno alla torre metallica (disposizione ad anello). Al fine di evitare fenomeni di rottura locale particolare cura andrà posta nella realizzazione della connessione delle staffe ai solai.

Young	modulo di elasticità normale	3.122 e +05	daN/cm ²
Poisson	coefficiente di contrazione trasversale	0.12	-
G	modulo di elasticità tangenziale	1.346 e +05	daN/cm ²
γ	peso specifico	2.500 e -03	daN/cm ³
α	coefficiente di dilatazione termica	1.000 e -03	cm ³ /°C
C	classe (minima)	C 30/35	daN/cm ²
R _{cm}	resistenza caratteristica	300.00	daN/cm ²
R _{ck}	resistenza media a compressione	350.00	daN/cm ²
f _{ctm}	tensione a trazione	26.1	daN/cm ²
F _{Ynom}	tensione di snervamento acciaio B450C	450	MPa
F _{tnom}	tensione di rottura acciaio B450C	540	MPa

Tab. 2.5: Caratteristiche platea di fondazione.

L'anello che realizza la copertura della SMVC va sempre controventato (ad \times) nel suo piano. Va indicato in modo evidente sull'impianto che detta controventatura non è idonea al sostegno di carichi sospesi.

2.2 Platea di fondazione

2.2.1 Caratteristiche dei materiali

La progettazione della platea di fondazione non fa parte del presente progetto.

Le caratteristiche richiamate nella Tab.2.5 vanno dunque intese solo come *caratteristiche minime suggerite*; ai fini del calcolo della struttura metallica sovrastante la platea di fondazione è considerata infinitamente rigida ed indeformabile. Saranno talvolta inseriti dispositivi di riduzione dello stress meccanico (MECSTRED - MEchanical STress REDucer ©) in corrispondenza della base dei montanti.

Acciaio per barre ed armature c.a.: tipo B450C ($F_{Ynom} = 450$ MPa; $F_{tnom} = 540$ MPa).

www.feme.biz

**STRUTTURA METALLICA PER VANO CORSA IMPIANTO
ELEVATORE**

**OPERA FINALIZZATA ALL'ABBATTIMENTO DELLE BARRIERE
ARCHITETTONICHE**

DITTA COSTRUTTRICE:	DEMO
RIFERIMENTO:	DEMO
LUOGO DI INSTALLAZIONE:	Via - 00 - AA
PROGETTO N:	00000

IL PRESENTE DOCUMENTO CONTIENE I FASCICOLI SOTTO RIPORTATI:

- **C1 - RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE E CALCOLI STRUTTURALI(*)**

(*) Il FASCICOLO DEI CALCOLI STRUTTURALI su carta è allegato in forma ridotta.

www.feme.biz

3. Schemi strutturali posti alla base dei calcoli

Le analisi statiche e dinamiche condotte in sede di progettazione e verifica della struttura, sono effettuate utilizzando un modello agli elementi finiti. In particolare, sono state considerate le seguenti ipotesi di modellizzazione:

- per i montanti, i traversi e gli eventuali irrigidimenti sono stati utilizzati elementi trave di Eulero-Bernoulli;
- per i controventi gli elementi utilizzati hanno comportamento di asta tesa, ovvero il loro contributo alla rigidezza della struttura è considerato solo se la sollecitazione longitudinale provoca una tensione dell'elemento stesso;
- le connessioni tra gli irrigidimenti e la struttura portante sono modellizzati attraverso elementi link rigidi;
- i collegamenti struttura-platea e struttura-edificio sono schematizzati attraverso vincoli esterni cinematici;
- per nodi di connessione tra traversi e montanti è ammesso un certo grado di cedevolezza, in modo tale da rendere il modello di giunzione più vicino alla realtà.
- nel modello sono presenti solo i traversi considerati come membrature principali; pertanto, il numero di tali elementi potrebbe non coincidere con quello che si può ricavare dagli elaborati grafici strutturali.

3.1 Diagrammi dei nodi e degli elementi della struttura

Nella Fig. 3.1 è riportata la posizione e la numerazione dei nodi della struttura. Le coordinate spaziali dei singoli nodi sono mostrate nella Tab. 3.1

Nodo	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Coord. Z [m]
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.120
3	0.000	0.000	0.220
4	0.000	0.000	0.800
5	0.000	0.000	1.100
6	0.000	0.000	2.050
7	0.000	0.000	2.343
8	0.000	0.000	3.300
9	0.000	0.000	3.470
10	0.000	0.000	4.550
11	0.000	0.000	4.850
12	0.000	0.000	5.693

Nodo	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Coord. Z [m]
13	0.000	0.000	5.800
14	0.000	0.000	6.820
15	0.000	0.000	7.050
16	0.000	0.000	8.300
17	0.000	0.000	9.043
18	0.000	0.000	9.320
19	0.000	0.864	0.000
20	0.000	0.864	0.120
21	0.000	0.864	0.220
22	0.000	0.864	0.800
23	0.000	0.864	1.100
24	0.000	0.864	2.050
25	0.000	0.864	2.343
26	0.000	0.864	3.300
27	0.000	0.864	3.470
28	0.000	0.864	4.550
29	0.000	0.864	4.850
30	0.000	0.864	5.693
31	0.000	0.864	5.800
32	0.000	0.864	6.820
33	0.000	0.864	7.050
34	0.000	0.864	8.300
35	0.000	0.864	9.043
36	0.000	0.864	9.320
37	1.595	0.864	0.000
38	1.595	0.864	0.120
39	1.595	0.864	0.220
40	1.595	0.864	0.800
41	1.595	0.864	1.100
42	1.595	0.864	2.050
43	1.595	0.864	2.343
44	1.595	0.864	3.300
45	1.595	0.864	3.470
46	1.595	0.864	4.550
47	1.595	0.864	4.850
48	1.595	0.864	5.693
49	1.595	0.864	5.800
50	1.595	0.864	6.820
51	1.595	0.864	7.050
52	1.595	0.864	8.300
53	1.595	0.864	9.043
54	1.595	0.864	9.320
55	1.595	0.000	0.000
56	1.595	0.000	0.120
57	1.595	0.000	0.220
58	1.595	0.000	0.800
59	1.595	0.000	1.100
60	1.595	0.000	2.050
61	1.595	0.000	2.343
62	1.595	0.000	3.300
63	1.595	0.000	3.470

Nodo	Coord. X [m]	Coord. Y [m]	Coord. Z [m]
64	1.595	0.000	4.550
65	1.595	0.000	4.850
66	1.595	0.000	5.693
67	1.595	0.000	5.800
68	1.595	0.000	6.820
69	1.595	0.000	7.050
70	1.595	0.000	8.300
71	1.595	0.000	9.043
72	1.595	0.000	9.320
73	0.000	0.127	0.220
74	0.000	0.432	0.220
75	0.000	0.737	0.220
76	0.000	0.127	0.800
77	0.000	0.432	0.800
78	0.000	0.737	0.800
79	0.000	0.127	2.050
80	0.000	0.432	2.050
81	0.000	0.737	2.050
82	0.000	0.127	3.300
83	0.000	0.432	3.300
84	0.000	0.737	3.300
85	0.000	0.127	4.550
86	0.000	0.432	4.550
87	0.000	0.737	4.550
88	0.000	0.127	5.800
89	0.000	0.432	5.800
90	0.000	0.737	5.800
91	0.000	0.127	7.050
92	0.000	0.432	7.050
93	0.000	0.737	7.050
94	0.000	0.127	8.300
95	0.000	0.432	8.300
96	0.000	0.737	8.300
97	0.000	0.127	0.510
98	0.000	0.127	1.425
99	0.000	0.127	2.675
100	0.000	0.127	3.925
101	0.000	0.127	5.175
102	0.000	0.127	6.425
103	0.000	0.127	7.675
104	0.000	0.737	0.510
105	0.000	0.737	1.425
106	0.000	0.737	2.675
107	0.000	0.737	3.925
108	0.000	0.737	5.175
109	0.000	0.737	6.425
110	0.000	0.737	7.675

Tab. 3.1: Coordinate dei nodi del modello strutturale

La numerazione degli elementi strutturali è mostrata nella Fig. 3.2, mentre nella Tab. 3.2

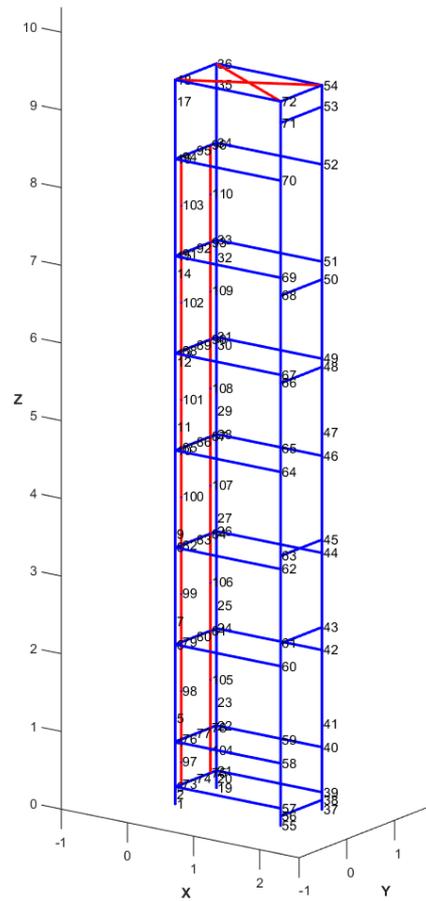


Fig. 3.1: Nodi del modello strutturale

sono riportate le caratteristiche degli elementi

Elem.	Nodi	Lunghezza [m]	Modello	Sezione	Posizione
1	2-1	0.120	trave	M40001	MNT1
2	3-2	0.100	trave	M40001	MNT1
3	4-3	0.580	trave	M40001	MNT1
4	5-4	0.300	trave	M40001	MNT1
5	6-5	0.950	trave	M40001	MNT1
6	7-6	0.293	trave	M40001	MNT1
7	8-7	0.957	trave	M40001	MNT1
8	9-8	0.170	trave	M40001	MNT1
9	10-9	1.080	trave	M40001	MNT1
10	11-10	0.300	trave	M40001	MNT1
11	12-11	0.843	trave	M40001	MNT1

Elem.	Nodi	Lunghezza [m]	Modello	Sezione	Posizione
12	13-12	0.107	trave	M40001	MNT1
13	14-13	1.020	trave	M40001	MNT1
14	15-14	0.230	trave	M40001	MNT1
15	16-15	1.250	trave	M40001	MNT1
16	17-16	0.743	trave	M40001	MNT1
17	18-17	0.277	trave	M40001	MNT1
18	19-20	0.120	trave	M40001	MNT2
19	20-21	0.100	trave	M40001	MNT2
20	21-22	0.580	trave	M40001	MNT2
21	22-23	0.300	trave	M40001	MNT2
22	23-24	0.950	trave	M40001	MNT2
23	24-25	0.293	trave	M40001	MNT2
24	25-26	0.957	trave	M40001	MNT2
25	26-27	0.170	trave	M40001	MNT2
26	27-28	1.080	trave	M40001	MNT2
27	28-29	0.300	trave	M40001	MNT2
28	29-30	0.843	trave	M40001	MNT2
29	30-31	0.107	trave	M40001	MNT2
30	31-32	1.020	trave	M40001	MNT2
31	32-33	0.230	trave	M40001	MNT2
32	33-34	1.250	trave	M40001	MNT2
33	34-35	0.743	trave	M40001	MNT2
34	35-36	0.277	trave	M40001	MNT2
35	38-37	0.120	trave	M40018	MNT3
36	39-38	0.100	trave	M40018	MNT3
37	40-39	0.580	trave	M40018	MNT3
38	41-40	0.300	trave	M40018	MNT3
39	42-41	0.950	trave	M40018	MNT3
40	43-42	0.293	trave	M40018	MNT3
41	44-43	0.957	trave	M40018	MNT3
42	45-44	0.170	trave	M40018	MNT3
43	46-45	1.080	trave	M40018	MNT3
44	47-46	0.300	trave	M40018	MNT3
45	48-47	0.843	trave	M40018	MNT3
46	49-48	0.107	trave	M40018	MNT3
47	50-49	1.020	trave	M40018	MNT3
48	51-50	0.230	trave	M40018	MNT3
49	52-51	1.250	trave	M40018	MNT3
50	53-52	0.743	trave	M40018	MNT3
51	54-53	0.277	trave	M40018	MNT3
52	55-56	0.120	trave	M40018	MNT4
53	56-57	0.100	trave	M40018	MNT4
54	57-58	0.580	trave	M40018	MNT4
55	58-59	0.300	trave	M40018	MNT4
56	59-60	0.950	trave	M40018	MNT4
57	60-61	0.293	trave	M40018	MNT4
58	61-62	0.957	trave	M40018	MNT4
59	62-63	0.170	trave	M40018	MNT4
60	63-64	1.080	trave	M40018	MNT4
61	64-65	0.300	trave	M40018	MNT4
62	65-66	0.843	trave	M40018	MNT4

Elem.	Nodi	Lunghezza [m]	Modello	Sezione	Posizione
63	66-67	0.107	trave	M40018	MNT4
64	67-68	1.020	trave	M40018	MNT4
65	68-69	0.230	trave	M40018	MNT4
66	69-70	1.250	trave	M40018	MNT4
67	70-71	0.743	trave	M40018	MNT4
68	71-72	0.277	trave	M40018	MNT4
69	3-73	0.127	trave	T30003	TRV1
70	73-74	0.305	trave	T30003	TRV1
71	74-75	0.305	trave	T30003	TRV1
72	75-21	0.127	trave	T30003	TRV1
73	4-76	0.127	trave	T30003	TRV1
74	76-77	0.305	trave	T30003	TRV1
75	77-78	0.305	trave	T30003	TRV1
76	78-22	0.127	trave	T30003	TRV1
77	6-79	0.127	trave	T30003	TRV1
78	79-80	0.305	trave	T30003	TRV1
79	80-81	0.305	trave	T30003	TRV1
80	81-24	0.127	trave	T30003	TRV1
81	8-82	0.127	trave	T30003	TRV1
82	82-83	0.305	trave	T30003	TRV1
83	83-84	0.305	trave	T30003	TRV1
84	84-26	0.127	trave	T30003	TRV1
85	10-85	0.127	trave	T30003	TRV1
86	85-86	0.305	trave	T30003	TRV1
87	86-87	0.305	trave	T30003	TRV1
88	87-28	0.127	trave	T30003	TRV1
89	13-88	0.127	trave	T30003	TRV1
90	88-89	0.305	trave	T30003	TRV1
91	89-90	0.305	trave	T30003	TRV1
92	90-31	0.127	trave	T30003	TRV1
93	15-91	0.127	trave	T30003	TRV1
94	91-92	0.305	trave	T30003	TRV1
95	92-93	0.305	trave	T30003	TRV1
96	93-33	0.127	trave	T30003	TRV1
97	16-94	0.127	trave	T30003	TRV1
98	94-95	0.305	trave	T30003	TRV1
99	95-96	0.305	trave	T30003	TRV1
100	96-34	0.127	trave	T30003	TRV1
101	18-36	0.864	trave	T30003	TRV_CH1
102	38-56	0.864	trave	T30001	TRV2
103	43-61	0.864	trave	T30001	TRV2
104	45-63	0.864	trave	T30001	TRV2
105	48-66	0.864	trave	T30001	TRV2
106	50-68	0.864	trave	T30001	TRV2
107	53-71	0.864	trave	T30001	TRV2
108	54-72	0.864	trave	T30001	TRV_CH2
109	21-39	1.595	trave	T30001	TRV3
110	22-40	1.595	trave	T30001	TRV3
111	24-42	1.595	trave	T30001	TRV3
112	26-44	1.595	trave	T30001	TRV3
113	28-46	1.595	trave	T30001	TRV3

Elem.	Nodi	Lunghezza [m]	Modello	Sezione	Posizione
114	31-49	1.595	trave	T30001	TRV3
115	33-51	1.595	trave	T30001	TRV3
116	34-52	1.595	trave	T30001	TRV3
117	36-54	1.595	trave	T30001	TRV_CH3
118	57-3	1.595	trave	T30001	TRV4
119	58-4	1.595	trave	T30001	TRV4
120	60-6	1.595	trave	T30001	TRV4
121	62-8	1.595	trave	T30001	TRV4
122	64-10	1.595	trave	T30001	TRV4
123	67-13	1.595	trave	T30001	TRV4
124	69-15	1.595	trave	T30001	TRV4
125	70-16	1.595	trave	T30001	TRV4
126	72-18	1.595	trave	T30001	TRV_CH4
127	18-54	1.814	astat	CTV150	CTV_C
128	36-72	1.814	astat	CTV150	CTV_C
129	94-103	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
130	103-91	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
131	91-102	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
132	102-88	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
133	88-101	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
134	101-85	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
135	85-100	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
136	100-82	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
137	82-99	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
138	99-79	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
139	79-98	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
140	98-76	0.625	traveg	T70x70x8	GUI1
141	76-97	0.290	traveg	T70x70x8	GUI1
142	97-73	0.290	traveg	T70x70x8	GUI1
143	96-110	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
144	110-93	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
145	93-109	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
146	109-90	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
147	90-108	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
148	108-87	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
149	87-107	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
150	107-84	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
151	84-106	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
152	106-81	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
153	81-105	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
154	105-78	0.625	traveg	T70x70x8	GUI2
155	78-104	0.290	traveg	T70x70x8	GUI2
156	104-75	0.290	traveg	T70x70x8	GUI2

trave = elemento trave Eulero-Bernoulli

traveg = elemento trave Eulero-Bernoulli per guide di scorrimento

link = elemento link rigido

astat = elemento trave asta tesa

MNT1 = montante Nord/Ovest

MNT2 = montante Nord/Est

MNT3 = montante Sud/Est

MNT4 = montante Sud/Ovest

Elem.	Nodi	Lunghezza [m]	Modello	Sezione	Posizione
TRV1					Traverso Nord
TRV2					Traverso Sud
TRV3					Traverso Est
TRV4					Traverso Ovest
TRV_CH1					Traverso chiusura testata Nord
TRV_CH2					Traverso chiusura testata Sud
TRV_CH3					Traverso chiusura testata Est
TRV_CH4					Traverso chiusura testata Ovest
TRV_GAN					Traverso per ganci
CTV					Controvento
CTV_C					Controvento copertura
IRR/IRR2					Irrigidimento
L_IRR					Link connessione irrigidimento
GUI1					Guida di scorrimento 1
GUI2					Guida di scorrimento 2

Tab. 3.2: Caratteristiche degli elementi strutturali

3.2 Orientamento in pianta

Per la definizione della posizione degli elementi all'interno della struttura, è utilizzato un orientamento basato sui quattro punti cardinali (Nord, Sud, Est, Ovest). Un secondo sistema di orientamento è invece legato alla posizione della meccanica dell'impianto nella struttura ed è stato introdotto nella sezione "textitRelazione sulla qualità e dosatura dei materiali". Tale orientamento utilizza le quattro lettere A, B, C, D, dove con la A è indicato il lato dove è posizionata la meccanica, mentre le altre lettere definiscono i lati della struttura seguendo il senso orario. Nella Fig. 3.3 sono mostrati i due sistemi di orientamento per la struttura in esame.

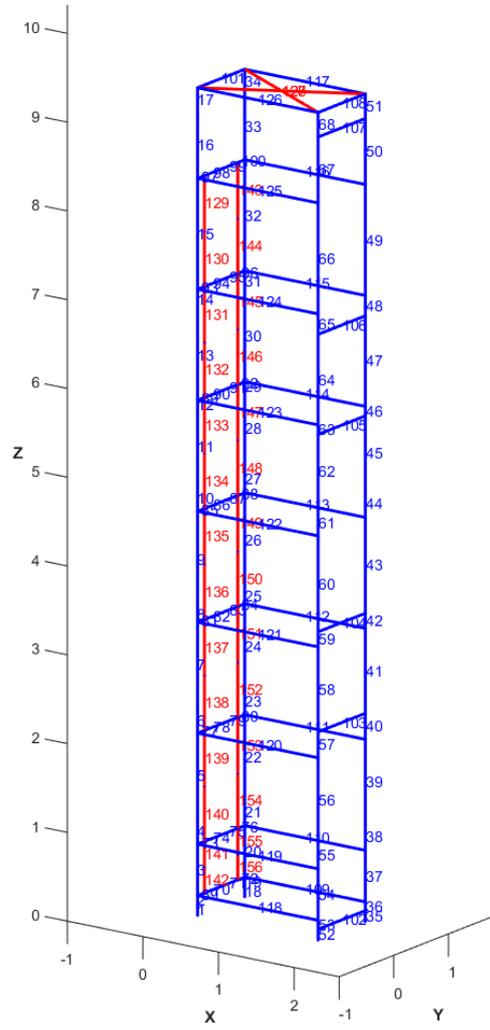


Fig. 3.2: Elementi del modello strutturale

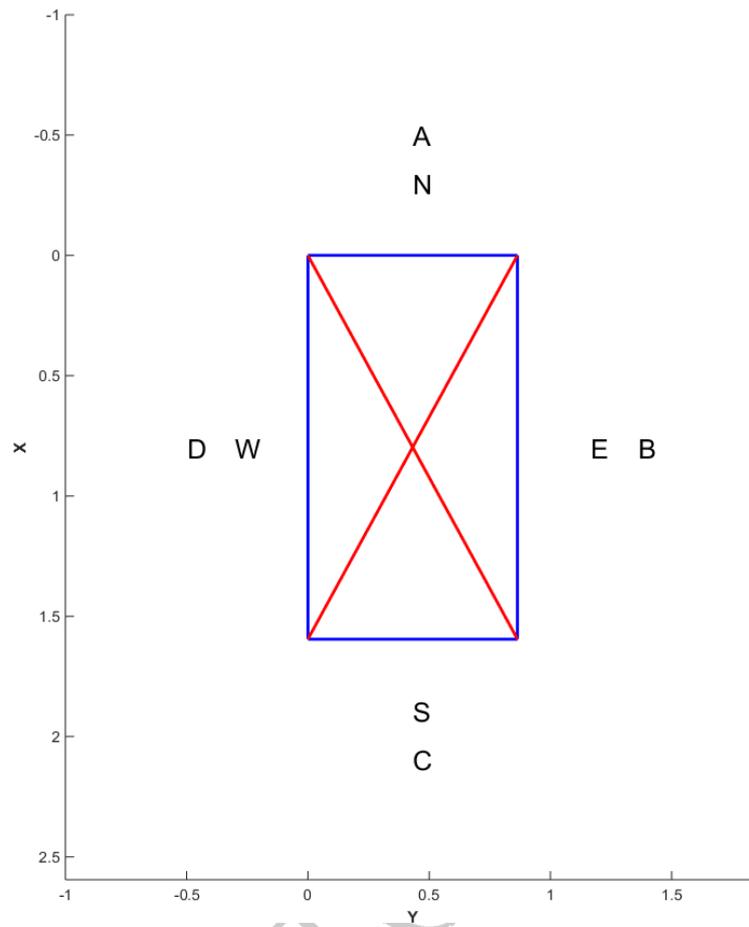


Fig. 3.3: Sistemi di orientamento.

4. Spettri di risposta

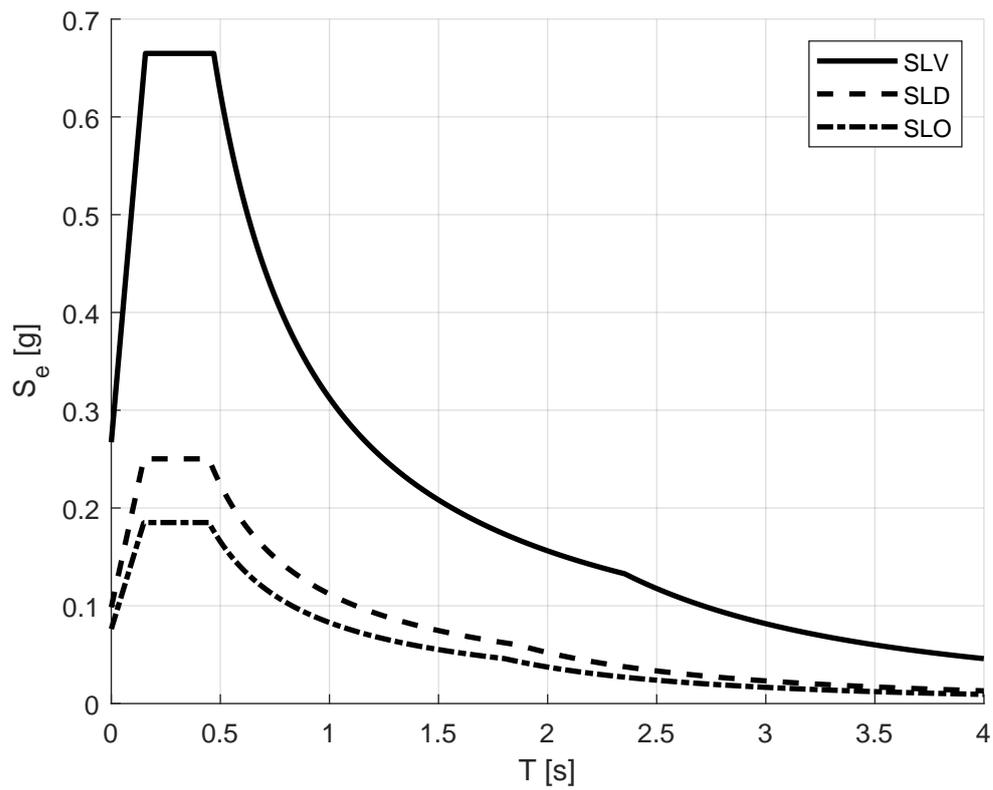


Fig. 4.1: Diagramma dello spettro di risposta elastico della componente verticale allo SLV

www.feme.biz

5. Relazione di calcolo della struttura

5.1 Generalità

Come già brevemente descritto nella sezione “*Relazione tecnica illustrativa sulle opere da eseguire*” oggetto della presente relazione tecnica di calcolo è una struttura metallica dedicata a vano corsa (SMVC), adibita al sostegno di un impianto elevatore (ascensore o piattaforma elevatrice), dei tamponamenti e della copertura.

La SMVC è legata all’edificio cui l’impianto elevatore è dedicato ed a questo trasferisce le azioni orizzontali provenienti dalla meccanica (azioni interne) e quelle provenienti da sisma e vento (azioni esterne). Le azioni verticali interne ed esterne (peso della struttura e dei tamponamenti, azioni legate meccanica d’impianto, azioni indotte da sisma) si scaricano prevalentemente sulla piastra di fondazione che realizza la fossa del vano corsa e, da qui, sul terreno sottostante.

Per comodità le sollecitazioni complessive agenti sulla SMVC saranno nel seguito distinte in esterne ed interne, orizzontali e verticali, permanenti, variabili, sismiche. Le sollecitazioni descritte saranno successivamente inserite in *casi di carico* e tra loro combinate in *combinazioni di carico*, secondo quanto richiesto dal D.M. 17.01.2018.

5.2 Caratteristiche generali dell’impianto elevatore

Sulla base dei dati trasmessi al progettista nella Tab. 5.1 (già riportata nella sezione “*Relazione tecnica illustrativa sulle opere da eseguire*” sono raccolte le principali caratteristiche meccaniche dell’impianto elevatore.

Tipo impianto	Oleodinamico in taglia
Portata	250.0 kg
Capienza	3 persone
Corsa	6700 mm
Fossa	180 mm
Testata	2500 mm
Fermate	3
Velocità	0.15 m/s
Scartamento guide	510 mm
Passo ancoraggio staffe guide	800-1250 (lato meccanica) mm
Guide cabina dir. X	310 daN
Guide cabina dir. Y	40 daN
Guide cabina dir. Z	910 daN
Guide contropeso dir. X	NP daN
Guide contropeso dir. Y	NP daN
Guide contropeso dir. Z	NP daN
Ammortizzatori cabina	ND daN
Ammortizzatori contropeso	NP daN
Intervento della valvola di blocco	1270 daN
Ganci montaggio e manutenzione	NP daN

Tab. 5.1: Caratteristiche generali dell’impianto elevatore
(ND: valore non disponibile; NP: valore non pertinente)

E' necessario che la massima distanza tra 2 connessioni consecutive della SMVC all'edificio sia inferiore o al massimo pari a 3500 mm.

5.3 Azioni applicate e parametri strutturali

Sulla base dei dati trasmessi al progettista, nella Tab. 5.2 sono raccolte le azioni agenti sulla struttura metallica che sono state prese in considerazione durante l'analisi strutturale.

<i>Azioni permanenti verticali</i>	
- Peso proprio della struttura metallica (stimato)	713.0 daN
- Peso delle tamponature del vano corsa (stimato)	0.3 daN/cm
<i>Azioni accidentali orizzontali (intervento del paracadute cabina)</i>	
- Spinta sulle guide in direzione X, FX	310 daN
- Spinta sulle guide in direzione Y, FY	40 daN
<i>Azioni variabili orizzontali (sisma)</i>	
- Carico da sisma (spostamento massimo indotto dall'edificio)	24.9 mm
- Carico da sisma (dinamico)	
<i>Masse per la determinazione del carico sismico</i>	
- Massa della struttura	726.8 kg
- Massa delle tamponature	1227.0 kg
- Massa cabina (con max portata)	438.8 kg
- Massa totale	2392.7 kg

Tab. 5.2: Azioni sulla struttura metallica
(ND: valore non disponibile; NP: valore non pertinente)

Le spinte agenti sulle guide all'azionamento del paracadute sono maggiori di quelle presenti durante le condizioni del normale esercizio. Come già accennato il carico da neve è generalmente trascurato trattandosi, nella maggior parte dei casi, di superfici orizzontali esposte di pochi m².

Sulla base dei dati trasmessi al progettista nella Tab. 5.3 sono raccolti i principali parametri strutturali assunti nel calcolo.

Tipo di costruzione	Opera ordinaria
Classe d'uso	II
Vita nominale	50 anni
Coefficiente d'uso	1.0
Periodo di riferimento	50 anni
Categoria sottosuolo	C
Categoria topografica	T1
Fattore di struttura in direzione X, q _X	1
Fattore di struttura in direzione Y, q _Y	1
Fattore di struttura in direzione Z, q _Z	1.5

Tab. 5.3: Parametri strutturali

5.4 Limitazioni meccaniche strutturali

La normativa sugli impianti elevatori¹ indica le condizioni per un esercizio sicuro dell'impianto elevatore, ed in particolare limita le frecce massime a valori per i quali:

- non possa verificarsi uno sblocco non voluto delle porte,
- il funzionamento dei dispositivi di sicurezza non sia compromesso, e
- non sia possibile l'urto di parti in movimento con altre parti.

5.5 Azioni sulla SMVC - Combinazioni di carico

Le azioni elementari che agiscono sulla SMVC, descritte nella Tab. 5.2, possono essere classificate secondo la variazione della loro intensità nel tempo, come illustrato nella Tab. 5.4.

IPM	Eccezionale	Intervento paracadute meccanico
PPS	Permanente	Peso proprio della struttura
PPT	Permanente	Peso proprio tamponamenti
CSX	Sismico	Carico sismico in direzione X
CSY	Sismico	Carico sismico in direzione Y
SSX	Sismico	Spostamento sismico edificio in direzione X
SSY	Sismico	Spostamento sismico edificio in direzione Y

Tab. 5.4: Azioni agenti sulla SMVC

Le direzioni di applicazione del vento sono scelte in base alla esposizione ed alla simmetria della SMVC

Secondo la normativa (D.M. 2018 § 2.5.2-3), le azioni dovute al peso proprio degli elementi strutturali G_1 , al peso proprio degli elementi non strutturali G_2 , alle azioni variabili $Q_{k1}, Q_{k2}, \dots, Q_{kj}$ (dove Q_{k1} è l'azione dominante), le azioni E dovute al sisma e le azioni eccezionali A devono essere combinate tra loro per il calcolo degli spostamenti e delle sollecitazioni interne utili per le verifiche agli stati limite.

In particolare, le combinazioni di interesse per la relazione di calcolo sono le seguenti:

- Combinazione fondamentale, utilizzata per gli stati limite ultimi.

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- Combinazione caratteristica (rara), utilizzata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- Combinazione frequente, utilizzata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- Combinazione quasi permanente, utilizzata per gli effetti a lungo termine dovuti gli stati limite di esercizio (SLE) $G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione sismica, utilizzata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

¹EN 81.20 § 5.7: Guide.

- Combinazione eccezionale, utilizzata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto (es. azioni dovute al paracadute)

$$G_1 + G_2 + A + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

I coefficienti di combinazione ψ_{0j} , ψ_{1j} , ψ_{2j} e i coefficienti parziali γ_{G1} , γ_{G2} , γ_{Qi} sono ricavati dalle tabelle 2.5.I e 2.6.I del DM2018 e riportati nella Tab. 5.5. La scelta dei coefficienti parziali è stata fatta considerando tutti i carichi come sfavorevoli, mentre le verifiche agli SLU effettuate sono di tipo strutturale e utilizzano l'Approccio 2 indicato nella normativa.

Categoria/Azione	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria E	1.0	0.9	0.8
Vento	0.6	0.2	0.0
	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_{Qi}
	1.3	1.5	1.5

Tab. 5.5: Coefficienti di combinazione e coefficienti parziali per le verifiche SLU

Nella tabella 5.6 sono riportati i coefficienti di tutte le combinazioni di carico utilizzate per le verifiche strutturali.

SLU Strutturali							
Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLU STR 1	0.0	1.3	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
SLU Eccezionale							
Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLU ECC 1	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SLU Sismici							
Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLV SIS 1	0.0	1.0	1.0	-1.0	-0.3	-1.0	-0.3
SLV SIS 2	0.0	1.0	1.0	-1.0	0.3	-1.0	0.3
SLV SIS 3	0.0	1.0	1.0	-0.3	-1.0	-0.3	-1.0
SLV SIS 4	0.0	1.0	1.0	-0.3	1.0	-0.3	1.0
SLV SIS 5	0.0	1.0	1.0	0.3	-1.0	0.3	-1.0
SLV SIS 6	0.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0
SLV SIS 7	0.0	1.0	1.0	1.0	-0.3	1.0	-0.3
SLV SIS 8	0.0	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3
SLE Quasi permanenti							
Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLE PERM 1	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SLE Frequenti							
Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLE FREQ. 1	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SLE Rare							
Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLE RARE 1	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tab. 5.6: Combinazioni di carico

5.6 Considerazioni sui carichi agenti sulla platea di fondazione

Nel caso di impianti elettroidraulici le azioni verticali sulla platea dovute:

- all'intervento della valvola di blocco, o
- all'intervento del paracadute (di cabina), o
- al carico sugli ammortizzatori,

non avvengono simultaneamente e possono pertanto essere considerate tra loro *esclusive*.

Nel caso di impianti elettromeccanici le azioni verticali sulla platea dovute:

- all'intervento del paracadute (di cabina o contropeso), o
- al carico sugli ammortizzatori,

non avvengono simultaneamente e possono pertanto essere considerate tra loro *esclusive*.

In prima approssimazione nel dimensionamento della platea di fondazione (con o senza pali) i carichi di compressione, trazione e taglio alla base dei montanti sopra indicati vanno fatti *ruotare* al di sotto dei montanti in diverse combinazioni di carico, per tener conto della aleatorietà dell'angolo di ingresso del sisma rispetto alla torre metallica.

A questi vanno aggiunti i carichi legati alla meccanica d'impianto (elettroidraulica o elettromeccanica): detti carichi agiscono nei rispettivi punti di applicazione al di sotto delle guide (di cabina e contropeso), degli ammortizzatori (di cabina e contropeso), del gruppo cilindro-pistone.

Per l'individuazione dei corretti punti di applicazione è necessario fare riferimento, di volta in volta, alla specifica meccanica utilizzata.

5.7 Il modello strutturale

Per l'analisi del comportamento statico e sismico della struttura in esame è necessario scegliere un modello di calcolo numerico dal quale poter ricavare i dati utili alla verifica agli Stati Limite. Il metodo adottato in questa trattazione è quello che utilizza una discretizzazione agli *Elementi Finiti* della struttura. Attraverso tale metodo è possibile ricavare la soluzione approssimata, in termini di spostamenti, dell'equazione che governa l'equilibrio di un sistema continuo soggetto a forze esterne superficiali e di volume (applicazione del teorema dei Lavori Virtuali). È opportuno evidenziare che i risultati ottenuti dal calcolo sono comunque correlati ad una schematizzazione numerica della realtà e che come tali vanno acquisiti ed interpretati. Per lo stesso motivo, si è ritenuto lecito introdurre delle semplificazioni in fase di modellizzazione.

Gli elementi con il quale viene discretizzata la struttura continua hanno il comportamento dei modelli di strutture elementari descritti dalla Scienza delle Costruzioni. In particolare si utilizzano:

- travi di Eulero-Bernulli per montanti, traversi, irrigidimenti (se presenti) e guide di scorrimento²;
- aste per collegamenti tra irrigidimenti (se presenti) e la struttura;
- aste tese per i controventi.

Il modello di *asta tesa* è un particolare tipo di asta che contribuisce alla rigidezza della struttura solo se la sollecitazione assiale che essa subisce non comprime l'elemento stesso. L'utilizzo di questo elemento strutturale per modellizzare il comportamento dei controventi è giustificato dal fatto che si vuole assicurare un contributo alla rigidezza della struttura da parte del singolo controvento solo quando questo lavora nelle condizioni per cui è stato progettato, e cioè in caso di sollecitazione assiale di natura tensiva.

Nella sezione "*Schemi strutturali posti alla base dei calcoli*" sono mostrati i disegni del modello di struttura nello spazio 3D con la numerazione degli elementi e dei nodi di connessione. Per

²per semplificare il modello mantenendo il carattere conservativo del calcolo, le staffe di connessione delle guide di scorrimento con i traversi strutturali non sono modellizzate, ma la tale connessione avviene in maniera diretta

facilitare la consultazione del presente fascicolo, nella Tab. ?? e nella Tab. ?? sono riportate nuovamente le numerazioni, rispettivamente, dei nodi (con le relative coordinate) e degli elementi.

omissis

5.7.1 Costruzione della matrice di rigidezza strutturale e sistemi di riferimento

Il metodo agli elementi finiti permette di ricavare gli spostamenti di un sistema continuo soggetto a forze esterne attraverso il passaggio da variabili continue a discrete. Le nuove variabili di spostamento sono gli spostamenti dei nodi degli elementi strutturali, attraverso i quali è possibile ricavare la soluzione approssimata attraverso opportune funzioni polinomiali (funzioni di forma). Il passaggio a variabili discrete permette di trasformare l'equazione integrale ricavata dal teorema dei lavori virtuali in un sistema di equazioni algebriche lineari che, per il singolo elemento, è del tipo:

$$[K]^e \cdot \{u\}^e = \{f\}^e \quad (5.1)$$

dove:

- $\{u\}^e$ è il vettore degli spostamenti e delle rotazioni ai nodi dell'elemento;
- $\{f\}^e$ è il vettore delle forze nodali generalizzate;
- $[K]^e$ è la matrice dei coefficienti del sistema, detta matrice di rigidezza dell'elemento. Gli elementi della matrice $[K]^e$ sono le rigidezze assiali, flessionali e torsionali degli elementi strutturali.

Il sistema scritto nella Eq. 5.1 è definito per il singolo elemento strutturale. Per avere un sistema di equazioni valido per l'intera struttura bisogna assemblare i singoli sistemi, ovvero combinare opportunamente le matrici dei coefficienti. Si deve però tener presente che spostamenti, forze nodali e, quindi la matrice di rigidezza elementare sono definiti nel sistema di riferimento locale del singolo elemento, che, in generale, è diverso dal sistema di riferimento globale dell'intera struttura. Prima della composizione della matrice di rigidezza globale, è quindi necessario effettuare una rotazione delle rigidezze locali attraverso i coseni direttori degli angoli definiti dai due sistemi di riferimento. Nella Fig. 5.1 sono mostrati i sistemi di riferimento utilizzati per le analisi numeriche. In particolare, si hanno:

- un sistema di riferimento $[X, Y, Z]$ globale dell'intera struttura;
- un sistema di riferimento $[x, y, z]$ locale baricentrico;
- un sistema di riferimento $[1, 2, 3]$ locale baricentrico diretto secondo gli assi principali di inerzia della sezione dell'elemento. Tale sistema di riferimento è utilizzato nella fase di verifica strutturale agli stati limite.

Nella figure Fig. 5.2 sono riportati nel dettaglio i sistemi di riferimento dei montanti e delle traverse. Si deve tener presente, però, che la figura è puramente esemplificativa: mentre le direzioni degli assi x e 1 degli elementi della struttura corrispondono a quelli della figura, gli assi y, z e $2, 3$ possono avere direzioni diverse a seconda del tipo di profilo e del loro angolo di rotazione rispetto al sistema X, Y, Z globale. Per avere le direzioni effettive bisogna far riferimento alle tavole dei profili impiegati presenti nel fascicolo dove sono riportati i particolari costruttivi.

Dopo aver ricavato gli spostamenti nodali nel riferimento globale, è possibile ricavare le sollecitazioni interne in corrispondenza dei nodi scrivendo gli spostamenti nel riferimento locale ed utilizzando l'Eq. 5.1. La nomenclatura e la convenzione per i segni delle sollecitazioni è la seguente:

- sollecitazione assiale N diretta lungo l'asse x con verso positivo se di trazione;
- sollecitazione di taglio T_y diretta lungo l'asse y con verso positivo se segue quello delle y positive;

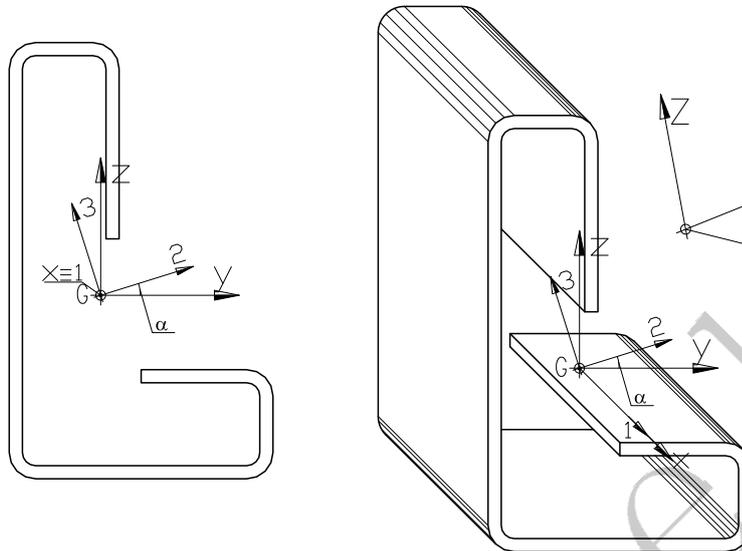


Fig. 5.1: Sistemi di riferimento.

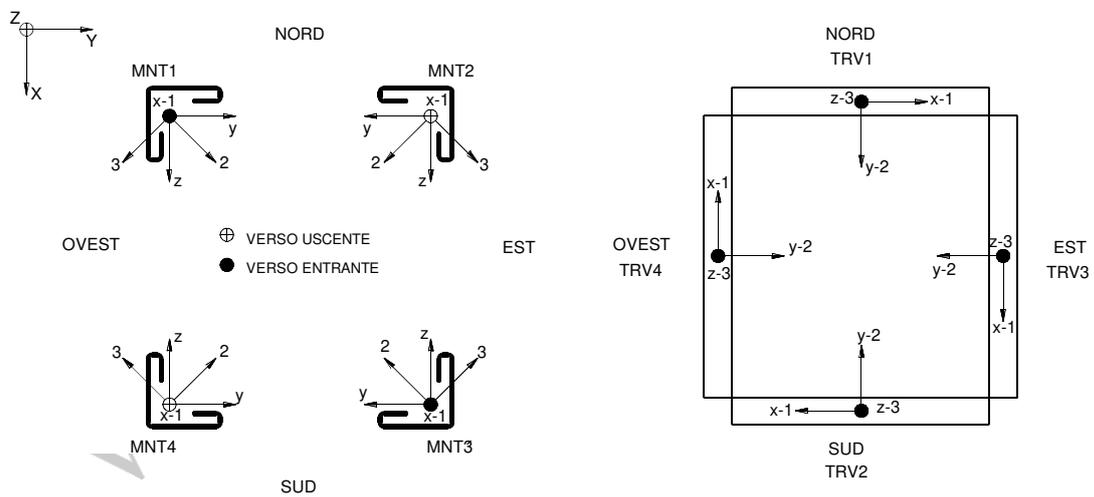


Fig. 5.2: Sistemi di riferimento degli elementi strutturali.

- sollecitazione di taglio T_z diretta lungo l'asse z con verso positivo se segue quello delle z positive;
- momento torcente M_t attorno all'asse x con verso positivo orario;

- momento flettente M_y attorno all'asse y con verso positivo se tende le fibre inferiori dell'elemento;
- momento flettente M_z attorno all'asse z con verso positivo se tende le fibre a sinistra.

5.8 Vincoli esterni ed interni.

omissis

5.8.1 Vincoli esterni cedevoli

omissis

5.8.2 Vincoli interni - Parametro di svincolo

omissis

5.9 Le azioni esterne

Verranno ora descritte le forze esterne prese in esame per le analisi strutturali statiche e in che modo sono applicate al modello utilizzato. Le azioni sismiche verranno trattate nella sezione dedicata alle verifiche strutturali in presenza dell'evento sismico.

5.9.1 Peso della struttura e dei tamponamenti

I pesi delle masse strutturali e non strutturali rappresentano i carichi permanenti agenti sulla struttura.

Le masse non strutturali considerate sono quelle dei tamponamenti che chiudono il telaio strutturale. Il peso della massa della cabina non è considerato nelle analisi statiche in quanto viene scaricato direttamente a terra tramite le guide dell'impianto elevatore.

In termini di forze esterne applicate al modello, i pesi sono considerati come carichi distribuiti sulla lunghezza dei singoli elementi strutturali. In particolare, per i tamponamenti si è assunto un peso lineare pari a 320.0 N/m, mentre il peso lineare degli elementi strutturali varia a seconda dei profili utilizzati.

5.9.2 Paracadute

Durante l'esercizio dell'impianto, in caso di emergenza, è possibile che il sistema di sicurezza intervenga per bloccare la cabina in movimento. Il bloccaggio avviene attraverso un dispositivo, chiamato anche "paracadute", che produce dei carichi in corrispondenza della quota alla quale si trova la cabina al momento dell'azionamento.

Nella Fig. 5.3 è riportata la schematizzazione delle forze dovute al paracadute: il carico generato è dovuto principalmente all'inerzia della cabina che genera coppie di forze giacenti sia nel piano che contiene le guide (F_y), sia a questo perpendicolari (F_x). La forza F_y è dovuta allo sbilanciamento causato da una eventuale non sincronicità del sistema di blocco sulle due guide. Il valore delle spinte agenti sulla struttura sono comunicate al progettista dall'azienda che fornisce la meccanica dell'impianto.

Sebbene l'azionamento del paracadute possa avvenire in qualsiasi punto del tratto che costituisce la corsa dell'impianto ascensore, si considera come condizione peggiore, per le verifiche agli stati limite, quella in cui la cabina venga bloccata nel punto per il quale si ha il massimo sfruttamento strutturale alla presa del paracadute. Questa condizione verrà presa in esame anche per l'analisi sismica. Nel paragrafo della presente sezione dedicato alla norma EN 81-2 è, invece, riportata la configurazione di forze che ha prodotto il massimo spostamento sulle guide. Nel caso

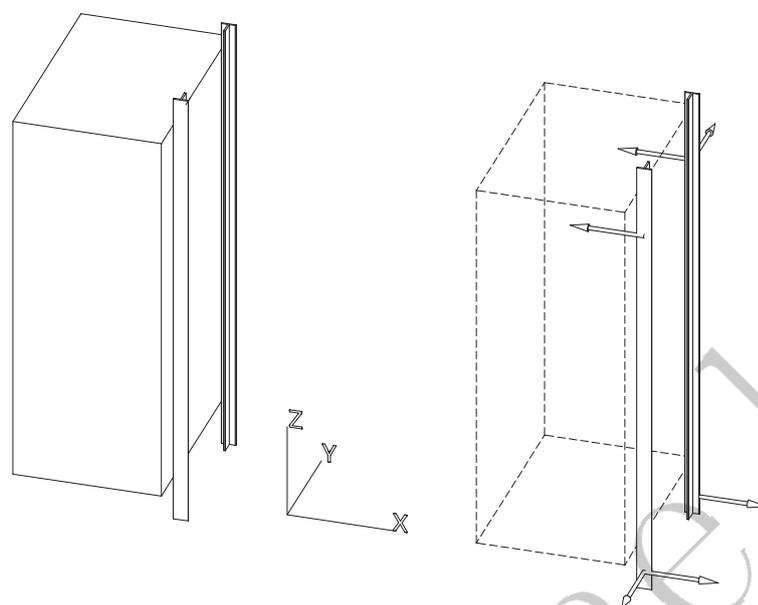


Fig. 5.3: Schematizzazione delle forze dovute al paracadute.

in esame le due configurazioni sono equivalenti.

In realtà è tutto il sistema formato dalle guide, staffe guide, traverse SMVC e montanti SMVC a flettersi sotto l'azione del paracadute (ciascun elemento in modo inversamente proporzionale alla propria rigidità); sarà dunque tutto il sistema a dover resistere al carico del paracadute. Tuttavia, la modellizzazione numerica eseguita su molteplici casi distinti ha posto in evidenza come la presenza delle guide, delle relative staffe e dei nodi interni di collegamento contribuisca in modo sostanziale alla redistribuzione del carico da paracadute ed alla relativa riduzione degli spostamenti in corrispondenza delle staffe guide. Sembra dunque più conservativo applicare la totalità delle sollecitazioni indotte dall'intervento del paracadute direttamente alle traverse interessate. Nella Tab. 5.7 sono riportate le forze dovute al paracadute ed i relativi nodi di applicazione per la configurazione che ha prodotto lo sfruttamento massimo. Le forze F_x e F_y nella tabella sono quelle parallele, rispettivamente, agli assi X e Y globali del modello in esame. Le stesse forze sono riportate graficamente nella Fig. 5.4

Nodo	F_x [N]	F_y [N]
88	-3100.0	-400.0
90	-3100.0	0.0
94	3100.0	0.0
96	3100.0	400.0

Tab. 5.7: Paracadute - Moduli delle forze e nodi di applicazione.

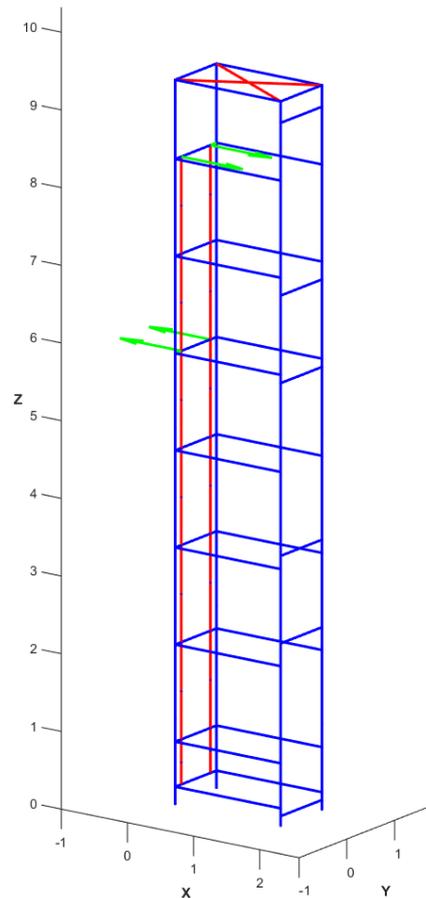


Fig. 5.4: Paracadute - Nodi di applicazione per la configurazione di massimo sfruttamento.

5.10 Analisi strutturale

In questa sezione verranno giustificati i metodi di analisi utilizzati per le verifiche successive così come disposto nel D.M.2018 al paragrafo 4.2. A scopo esemplificativo, sono riportati i risultati delle analisi validi solo per le combinazioni di carico più rappresentative per ogni stato limite. Tutti i risultati possono essere consultati nella sezione denominata “*Fascicolo dei calcoli*”.

5.10.1 Classificazione delle sezioni e calcolo della capacità resistente

omissis

Nella Tab. 5.9 è riportata la classificazione delle sezioni utilizzate per il progetto e i valori efficaci sopra descritti per una delle combinazioni di carico analizzate (Tab. 5.8). In particolare, vengono elencati i valori delle aree e dei moduli di resistenza prima e dopo il calcolo iterativo. Dato che le riduzioni delle sezioni dipendono dal valore delle sollecitazioni, è possibile che alcuni

dei valori calcolati restino invariati (così come per le sezioni di classe 3 che non sono interessate dalla riduzione di sezione).

Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLU ECC 1	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tab. 5.8: Grandezze efficaci - combinazione di carico considerata

www.feme.biz

Elem.	Sezione	Classe	A [mm ²]	A _{eff} [mm ²]	W ₂ ⁺ [mm ⁴]	W _{eff,2} ⁺ [mm ⁴]	W ₂ ⁻ [mm ⁴]	W _{eff,2} ⁻ [mm ⁴]	W ₃ ⁺ [mm ⁴]	W _{eff,3} ⁺ [mm ⁴]	W ₃ ⁻ [mm ⁴]	W _{eff,3} ⁻ [mm ⁴]
127	CTV150	1	1.500e+02	1.500e+02								
128	CTV150	1	1.500e+02	1.500e+02								

Tab. 5.9: Grandezze efficaci - Valori calcolati per la combinazione di carico riportata nella Tab. 5.8

www.feme.biz

5.11 Metodo di analisi globale ed effetti del secondo ordine

omissis

Nella Tab. 9.7 sono riportati i valori di α_{cr} e Θ per ogni combinazione di carico analizzata.

Comb.	α_{cr}	≥ 10	≥ 3	Θ	≤ 0.1	≤ 0.3
SLU ECC 1	3.77e+01	OK	OK	2.65e-02	OK	OK
SLU STR 1	2.48e+01	OK	OK	4.02e-02	OK	OK
SLV SIS 1	6.56e+01	OK	OK	1.52e-02	OK	OK
SLV SIS 2	6.82e+01	OK	OK	1.47e-02	OK	OK
SLV SIS 3	3.44e+01	OK	OK	2.91e-02	OK	OK
SLV SIS 4	2.39e+01	OK	OK	4.18e-02	OK	OK
SLV SIS 5	2.40e+01	OK	OK	4.17e-02	OK	OK
SLV SIS 6	1.82e+01	OK	OK	5.48e-02	OK	OK
SLV SIS 7	1.40e+01	OK	OK	7.14e-02	OK	OK
SLV SIS 8	1.38e+01	OK	OK	7.23e-02	OK	OK
SLE PERM 1	3.56e+01	OK	OK	2.81e-02	OK	OK
SLE FREQ. 1	3.56e+01	OK	OK	2.81e-02	OK	OK
SLE RARE 1	3.56e+01	OK	OK	2.81e-02	OK	OK
SLD SIS 1	7.17e+01	OK	OK	1.39e-02	OK	OK
SLD SIS 2	7.02e+01	OK	OK	1.42e-02	OK	OK
SLD SIS 3	4.26e+01	OK	OK	2.35e-02	OK	OK
SLD SIS 4	3.90e+01	OK	OK	2.57e-02	OK	OK
SLD SIS 5	3.07e+01	OK	OK	3.26e-02	OK	OK
SLD SIS 6	2.93e+01	OK	OK	3.41e-02	OK	OK
SLD SIS 7	2.29e+01	OK	OK	4.37e-02	OK	OK
SLD SIS 8	2.27e+01	OK	OK	4.40e-02	OK	OK

Tab. 5.10: Valori del moltiplicatore α_{cr} e di Θ per le combinazioni di carico.

Nel caso in cui il valore di α_{cr} sia minore di 10, ma maggiore di 3, la normativa consente di utilizzare ancora l'analisi lineare moltiplicando i carichi dovuti alle azioni sulla struttura per un fattore β calcolato come

$$\beta = \frac{\alpha_{cr}}{\alpha_{cr} - 1} > 1 \quad (5.2)$$

5.12 Verifiche agli stati limite ultimi

5.12.1 Resistenza di calcolo

Secondo la normativa, la resistenza di calcolo R_d , utilizzata per le verifiche agli stati limite ultimi è posta nella forma:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (5.3)$$

dove R_k è il valore caratteristico della resistenza che dipende dal tipo di sollecitazione, dai valori caratteristici delle resistenze dei materiali f_{yk} e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali (aree resistenti e moduli di resistenza flessionali). La grandezza γ_M è, invece, il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato. Nella Tab. 5.11 sono elencati i valori di γ_M e l'ambito del loro utilizzo

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1.05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1.05$

Tab. 5.11: Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

5.12.2 Resistenza delle membrature

Il tipo di stato di sollecitazione relativo ai singoli elementi strutturali è determinato dal modello utilizzato per caratterizzare il comportamento degli elementi stessi. In particolare, si ha che:

- le aste e le aste tese sono soggette alle sole sollecitazioni dirette lungo l'asse dell'elemento;
- le travi di Eulero sono soggette a sollecitazioni assiali, flessionali, di taglio e di torsione.

Pertanto, le verifiche di resistenza agli stati limite per gli elementi aventi comportamento di asta tesa devono essere condotte tenendo presente che la forza assiale N_{Ed} deve rispettare le seguenti condizioni ³:

$$\frac{N_{Ed}}{A f_{yk}/\gamma_{M0}} \leq 1 \quad \begin{array}{l} \text{per aste di classe 1-2-3-4 in trazione e} \\ \text{per aste di classe 1-2-3 in compressione} \end{array} \quad (5.4)$$

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_{yk}/\gamma_{M0}} \leq 1 \quad \text{per aste di classe 4 in compressione} \quad (5.5)$$

Per quanto riguarda gli elementi a comportamento di trave di Eulero (montanti e traversi), la verifica è condotta valutando le relazioni della normativa che coinvolgono le sollecitazioni di presso-tenso flessione biassiale ⁴:

$$\eta_r = \frac{N_{Ed}}{A f_{yk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{2,Ed}}{W_{2,min} f_{yk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{3,Ed}}{W_{3,min} f_{yk}/\gamma_{M0}} \leq 1 \quad \begin{array}{l} \text{per sezioni di classe 1-} \\ \text{2-3} \end{array} \quad (5.6)$$

$$\eta_r = \frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_{yk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{2,Ed} + N_{Ed} e_{N2}}{W_{eff,2,min} f_{yk}/\gamma_{M0}} + \frac{M_{3,Ed} + N_{Ed} e_{N3}}{W_{eff,3,min} f_{yk}/\gamma_{M0}} \leq 1 \quad \begin{array}{l} \text{per sezioni di clas-} \\ \text{se 4} \end{array} \quad (5.7)$$

L'influenza del taglio T_{Ed} può essere trascurato se non supera il 50% della resistenza di calcolo a taglio $T_{c,Rd}$ calcolata con l'espressione:

$$T_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad (5.8)$$

dove A_v è l'area resistente al taglio. Tale grandezza può essere valutata, nelle due direzioni principali 2 e 3, a partire dall'area della sezione utilizzando i fattori di taglio χ_2 e χ_3 :

$$A_{v,2,3} = \frac{A}{\chi_{2,3}} \quad (5.9)$$

Qualora il taglio non possa essere trascurato, i suoi effetti devono essere inclusi nelle verifiche. A tale proposito, la normativa consente di utilizzare una tensione di snervamento ridotta $f_{y,red} = (1 - \rho) f_y$, dove:

³D.M.2018 - condizioni 4.2.6-7 e 4.2.10-11

⁴D.M.2018 - relazione 4.2.39 esplicitata, per le sezioni di classe 4, in EN 1993-1-1:2005 - relazione 6.44. I pedici 2 e 3 sostituiscono y e z presenti nelle norme, in accordo con la nomenclatura utilizzata per indicare gli assi principali di inerzia.

$$\rho = \left[\frac{2T_{Ed}}{T_{c,Rd}} - 1 \right]^2 \quad (5.10)$$

In presenza di torsione, la resistenza a taglio della sezione deve essere opportunamente ridotta. A questo proposito, la normativa non fornisce indicazioni valide per profili generici, ma solo per profili ad I o H e per sezioni cave. Per le verifiche effettuate in questa trattazione, si è proceduto utilizzando l'espressione⁵ valida per profili ad I o H, essendo quest'ultima la più conservativa:

$$T_{c,Rd,red} = T_{c,Rd} \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1.25 \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})}} \quad (5.11)$$

dove $\tau_{t,Ed}$ è la massuna tensione tangenziale dovuta alla torsione uniforme. Tale grandezza può essere calcolata tramite la formula:

$$\tau_{t,Ed} = \frac{M_t}{I_t} \cdot t_{max} \quad (5.12)$$

dove M_t è il momento torcente, I_t è il momento di inerzia torsionale e t_{max} è lo spessore massimo della sezione.

Calcolo delle sollecitazioni

Nella Tab. ?? sono riportati i valori delle sollecitazioni che agiscono ai nodi degli elementi strutturali per la combinazione di carico considerata nel paragrafo 5.10.1. Tali valori sono calcolati nel sistema di riferimento baricentrico (non principale di inerzia)

omissis

Tensioni e sfruttamento

omissis

5.12.3 Stabilità delle membrature

La normativa⁶ consente di verificare la stabilità delle membrature utilizzando uno dei metodi proposti, denominati *Metodo A* e *Metodo B*. Per le verifiche riportate in questa sezione si è scelto di utilizzare il *Metodo A*, che consiste nel valutare le relazioni:

Sezioni di Classe 1-2-3

$$\eta_s = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{2eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot f_{yk} \cdot W_2 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}}\right)} + \frac{M_{3eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_3 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}}\right)} \leq 1 \quad (5.13)$$

Sezioni di Classe 4

$$\eta_s = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A_{eff}} + \frac{(M_{2eq,Ed} + N_{ed} e_{N2}) \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot f_{yk} \cdot W_{2,eff} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}}\right)} + \frac{(M_{3eq,Ed} + N_{ed} e_{N3}) \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_{3,eff} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}}\right)} \leq 1 \quad (5.14)$$

dove

– $M_{2eq,Ed}$ e $M_{3eq,Ed}$ sono i momenti flettenti equivalenti attorno agli assi principale 2 e 3;

⁵D.M.2018 relazione 4.2.24

⁶D.M. 2008 - Circolare applicativa § C.4.2.4.1.3.3.1-2

- χ_{\min} è un coefficiente riduttivo per l'instabilità a compressione;
- χ_{LT} è un coefficiente riduttivo che tiene conto dell'instabilità flessio-torsionale. Nelle relazioni scritte sopra deve essere posto a denominatore del membro relativo all'asse forte della sezione;
- $N_{cr,2}$ e $N_{cr,3}$ sono i carichi critici euleriani della membratura rispetto agli assi 2 e 3.

Calcolo dei momenti flettenti equivalenti

Per momenti flettenti variabili lungo la trave si assume

$$M_{eq,Ed} = 1.3M_{m,Ed} \quad (5.15)$$

dove $M_{m,Ed}$ è il valor medio del momento flettente, con la limitazione $0.75 \cdot M_{\max,Ed} \leq M_{eq,Ed} \leq M_{\max,Ed}$.

Coefficiente χ_{\min}

Il valore di χ_{\min} è pari al minimo tra i coefficienti di instabilità χ_2 e χ_3 che dipendono dai carichi critici dell'asta compressa. In particolare, si ha:

$$\chi_{2,3} = \frac{1}{\Phi_{2,3} + \sqrt{\Phi_{2,3}^2 - \bar{\lambda}_{2,3}^2}} \leq 1 \quad (5.16)$$

dove $\Phi_{2,3} = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_{2,3} - 0.2) + \bar{\lambda}_{2,3}^2 \right]$. Il *fattore di imperfezione* α si ricava dalle tabelle contenute nelle norme tecniche⁷ considerando l'opportuna *curva di instabilità*, la quale dipende dalla sezione e dal materiale utilizzati. Dato che ad un valore di α maggiore corrisponde una resistenza all'instabilità minore (i coefficienti riduttivi $\chi_{2,3}$ sono più bassi), si è scelto il valore $\alpha = 0.76$ che è il massimo presente nelle tabelle.

Le grandezze $\lambda_{2,3}$, chiamate anche *snellezze adimensionali* si possono calcolare tramite la relazione:

$$\bar{\lambda}_{2,3} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr,2,3}}} \quad (5.17)$$

dove, per le sezioni di classe 4, sono utilizzare le aree efficaci.

I carichi critici $N_{cr,2,3}$ sono stati calcolati tramite la formula di Eulero:

$$N_{cr,2,3} = \pi^2 \frac{EJ_{2,3}}{L_0^2} \quad (5.18)$$

dove L_0 è la *lunghezza libera di inflessione* che dipende dai vincoli della trave. In questa trattazione si utilizza un valore di L_0 pari alla lunghezza della trave; tale condizione corrisponde a vincoli a cerniera su entrambe le estremità.

Coefficiente χ_{LT}

Il calcolo del coefficiente di instabilità flessio-torsionale χ_{LT} avviene in modo analogo a quello mostrato sopra per i coefficienti $\chi_{2,3}$. La prima operazione consiste nella valutazione del coefficiente di snellezza adimensionale $\bar{\lambda}_{LT}$, dato dalla formula:

⁷D.M.2018 - Tab. 4.2 VIII

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W \cdot f_{yk}}{M_{cr}}} \quad (5.19)$$

dove W è il modulo di resistenza alla flessione rispetto all'asse di inerzia più debole e M_{cr} è il momento critico elastico di instabilità torsionale, calcolato considerando la sezione lorda del profilo e i ritegni torsionali nell'ipotesi di diagramma di momento flettente uniforme. Si ritiene utile considerare che sia il modulo W sia M_{cr} dipendono dal verso del momento flettente applicato. Dato che potrebbe verificarsi un cambiamento di segno del momento lungo l'asse della trave, i valori delle grandezze sono stati calcolati su entrambe le estremità degli elementi strutturali e poi si è scelto come valore di sfruttamento η_r quello che è risultato maggiore. Come consentito dalla normativa, il calcolo del momento critico M_{cr} è avvenuto per mezzo di modelli di trave agli elementi finiti sui quali sono stati eseguite analisi di buckling.

Dopo aver calcolato il valore di $\bar{\lambda}_{LT}$ si è proceduto valutando il coefficiente χ_{LT} con la formula:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad (5.20)$$

dove $\Phi_{LT} = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2]$.

Come consentito dalla normativa, i valori dei coefficienti $\lambda_{LT,0}$ e β sono stati scelti pari, rispettivamente, a 0.2 e 1.

Il fattore f presente nell'Eq. 5.20 è stato definito con la formula

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) [1 - 2 (\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2] \quad (5.21)$$

dove k_c dipende dal diagramma del momento flettente e dal rapporto Ψ tra i valori del momento stesso alle estremità dell'elemento. Per diagrammi lineari si ha

$$k_c = \frac{1}{1.33 - 0.33\Psi} \quad (5.22)$$

con $-1 \leq \Psi = M_{\min}/M_{\max} \leq 1$.

Calcolo degli sfruttamenti e verifica della snellezza

Oltre al controllo del parametro η_s attraverso le formule 5.13 e 5.14, la normativa prevede una verifica sulle *snellezze* $\lambda_{2,3}$ relative alle direzioni principali. Il calcolo di tali valori è dato dalla formula:

$$\lambda_{2,3} = \frac{L_0}{i_{2,3}} \quad (5.23)$$

dove $i_{2,3} = \sqrt{I_{2,3}/A}$ sono i raggi di inerzia relativi.

omissis

5.13 Verifiche agli stati limite di esercizio

Per le combinazioni di carico *rara*, *frequente* e *quasi permanente* la normativa⁸ prevede le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE), effettuate attraverso la valutazione degli spostamenti della struttura.

⁸D.M.2018 - § 4.2.4.2

5.13.1 Spostamenti verticali

Nella Fig. 5.5 è mostrata la configurazione deformata nella direzione verticale di una generica membratura.

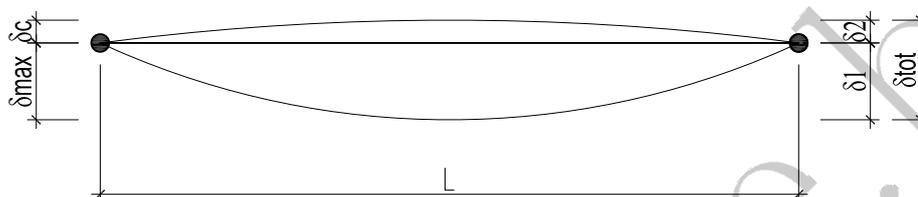


Fig. 5.5: SLE - Definizione degli spostamenti verticali.

In particolare, si hanno i seguenti spostamenti:

- δ_c : monta iniziale della trave, ovvero la deformazione della trave scarica. Nel caso in esame tale grandezza è considerata nulla;
- δ_1 : spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti;
- δ_2 : spostamento elastico dovuto ai carichi variabili;
- $\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2$: spostamento elastico totale;
- $\delta_{max} = \delta_{tot} - \delta_c$: spostamento nello stato finale depurato della monta iniziale.

La verifica agli spostamenti verticali consiste nel confronto tra gli spostamenti δ_{max} e δ_2 e la luce libera L della membratura. Nelle tabelle⁹ presenti nella normativa sono indicati i valori limite dei rapporti δ_{max}/L e δ_2/L . Per questa trattazione, in assenza di indicazioni più precise, ci si è riferiti ai valori relativi a *solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili*, adottando quindi i seguenti criteri:

$$\frac{\delta_{max}}{L} < \frac{1}{250} \quad (5.24)$$

$$\frac{\delta_2}{L} < \frac{1}{350} \quad (5.25)$$

Nella Tab. 5.16 sono riportati i risultati della verifica per la combinazione di carico riportata nella Tab. 5.12.

Nodo	δ_{max} [mm]	δ_{max}/L	Lato Nord			
			$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
3	0.543	6.288e-04	OK	0.001	8.639e-07	OK

⁹D.M.2018 - Tab. 4.2.XII

Nodo	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	Lato Nord			
			< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
73	0.549	6.354e-04	OK	0.002	1.981e-06	OK
74	0.557	6.449e-04	OK	0.007	8.129e-06	OK
75	0.551	6.382e-04	OK	0.012	1.412e-05	OK
4	0.551	6.379e-04	OK	0.001	8.212e-07	OK
76	0.553	6.396e-04	OK	0.002	1.880e-06	OK
77	0.556	6.434e-04	OK	0.007	8.120e-06	OK
78	0.555	6.425e-04	OK	0.012	1.435e-05	OK
6	0.563	6.517e-04	OK	0.000	1.644e-07	OK
79	0.563	6.513e-04	OK	0.002	1.824e-06	OK
80	0.564	6.530e-04	OK	0.007	8.455e-06	OK
81	0.565	6.542e-04	OK	0.013	1.493e-05	OK
8	0.572	6.626e-04	OK	0.000	4.027e-07	OK
82	0.572	6.618e-04	OK	0.001	1.233e-06	OK
83	0.573	6.630e-04	OK	0.008	8.925e-06	OK
84	0.574	6.647e-04	OK	0.014	1.594e-05	OK
10	0.580	6.712e-04	OK	0.002	1.968e-06	OK
85	0.579	6.704e-04	OK	0.001	1.531e-06	OK
86	0.580	6.716e-04	OK	0.010	1.187e-05	OK
87	0.582	6.734e-04	OK	0.016	1.869e-05	OK
13	0.586	6.778e-04	OK	0.001	8.356e-07	OK
88	0.585	6.768e-04	OK	0.003	3.098e-06	OK
89	0.586	6.780e-04	OK	0.007	8.391e-06	OK
90	0.587	6.799e-04	OK	0.018	2.067e-05	OK
15	0.589	6.822e-04	OK	0.001	1.599e-06	OK
91	0.589	6.812e-04	OK	0.002	2.265e-06	OK
92	0.590	6.823e-04	OK	0.007	8.332e-06	OK
93	0.591	6.843e-04	OK	0.018	2.039e-05	OK
16	0.592	6.847e-04	OK	0.005	5.642e-06	OK
94	0.590	6.833e-04	OK	0.001	7.301e-07	OK
95	0.591	6.839e-04	OK	0.007	8.230e-06	OK
96	0.593	6.864e-04	OK	0.016	1.831e-05	OK
73	0.549	6.354e-04	OK	0.002	1.981e-06	OK
74	0.557	6.449e-04	OK	0.007	8.129e-06	OK
75	0.551	6.382e-04	OK	0.012	1.412e-05	OK
21	0.546	6.322e-04	OK	0.013	1.513e-05	OK
76	0.553	6.396e-04	OK	0.002	1.880e-06	OK
77	0.556	6.434e-04	OK	0.007	8.120e-06	OK
78	0.555	6.425e-04	OK	0.012	1.435e-05	OK
22	0.554	6.413e-04	OK	0.013	1.546e-05	OK
79	0.563	6.513e-04	OK	0.002	1.824e-06	OK
80	0.564	6.530e-04	OK	0.007	8.455e-06	OK
81	0.565	6.542e-04	OK	0.013	1.493e-05	OK
24	0.566	6.552e-04	OK	0.014	1.637e-05	OK
82	0.572	6.618e-04	OK	0.001	1.233e-06	OK
83	0.573	6.630e-04	OK	0.008	8.925e-06	OK
84	0.574	6.647e-04	OK	0.014	1.594e-05	OK
26	0.576	6.662e-04	OK	0.015	1.720e-05	OK
85	0.579	6.704e-04	OK	0.001	1.531e-06	OK
86	0.580	6.716e-04	OK	0.010	1.187e-05	OK
87	0.582	6.734e-04	OK	0.016	1.869e-05	OK

Lato Nord						
Nodo	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
28	0.583	6.749e-04	OK	0.015	1.720e-05	OK
88	0.585	6.768e-04	OK	0.003	3.098e-06	OK
89	0.586	6.780e-04	OK	0.007	8.391e-06	OK
90	0.587	6.799e-04	OK	0.018	2.067e-05	OK
31	0.589	6.815e-04	OK	0.016	1.820e-05	OK
91	0.589	6.812e-04	OK	0.002	2.265e-06	OK
92	0.590	6.823e-04	OK	0.007	8.332e-06	OK
93	0.591	6.843e-04	OK	0.018	2.039e-05	OK
33	0.593	6.860e-04	OK	0.019	2.151e-05	OK
94	0.590	6.833e-04	OK	0.001	7.301e-07	OK
95	0.591	6.839e-04	OK	0.007	8.230e-06	OK
96	0.593	6.864e-04	OK	0.016	1.831e-05	OK
34	0.595	6.885e-04	OK	0.024	2.726e-05	OK
18	0.592	6.853e-04	OK	0.005	6.265e-06	OK
36	0.595	6.891e-04	OK	0.026	2.973e-05	OK

Lato Sud						
Nodo	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
38	0.435	5.030e-04	OK	0.041	4.695e-05	OK
43	0.478	5.534e-04	OK	0.048	5.533e-05	OK
45	0.496	5.736e-04	OK	0.050	5.802e-05	OK
48	0.521	6.031e-04	OK	0.053	6.116e-05	OK
50	0.529	6.127e-04	OK	0.053	6.161e-05	OK
53	0.537	6.216e-04	OK	0.051	5.917e-05	OK
56	0.407	4.716e-04	OK	0.054	6.292e-05	OK
61	0.448	5.180e-04	OK	0.063	7.319e-05	OK
63	0.464	5.366e-04	OK	0.066	7.677e-05	OK
66	0.487	5.637e-04	OK	0.072	8.323e-05	OK
68	0.495	5.725e-04	OK	0.074	8.544e-05	OK
71	0.502	5.805e-04	OK	0.077	8.889e-05	OK
54	0.537	6.218e-04	OK	0.051	5.883e-05	OK
72	0.502	5.807e-04	OK	0.077	8.927e-05	OK

Lato Est						
Nodo	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
21	0.546	3.424e-04	OK	0.013	8.197e-06	OK
22	0.554	3.474e-04	OK	0.013	8.374e-06	OK
24	0.566	3.549e-04	OK	0.014	8.869e-06	OK
26	0.576	3.609e-04	OK	0.015	9.315e-06	OK
28	0.583	3.656e-04	OK	0.015	9.315e-06	OK
31	0.589	3.692e-04	OK	0.016	9.859e-06	OK
33	0.593	3.716e-04	OK	0.019	1.165e-05	OK
34	0.595	3.730e-04	OK	0.024	1.477e-05	OK
39	0.437	2.740e-04	OK	0.041	2.563e-05	OK
40	0.449	2.817e-04	OK	0.043	2.675e-05	OK
42	0.473	2.967e-04	OK	0.047	2.935e-05	OK
44	0.493	3.093e-04	OK	0.050	3.123e-05	OK
46	0.509	3.192e-04	OK	0.052	3.236e-05	OK

Lato Est						
Nodo	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
49	0.522	3.273e-04	OK	0.053	3.313e-05	OK
51	0.531	3.328e-04	OK	0.053	3.328e-05	OK
52	0.536	3.358e-04	OK	0.052	3.247e-05	OK
36	0.595	3.733e-04	OK	0.026	1.610e-05	OK
54	0.537	3.368e-04	OK	0.051	3.187e-05	OK

Lato Ovest						
Nodo	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
57	0.410	2.568e-04	OK	0.055	3.433e-05	OK
58	0.421	2.640e-04	OK	0.057	3.576e-05	OK
60	0.443	2.778e-04	OK	0.062	3.890e-05	OK
62	0.461	2.893e-04	OK	0.066	4.127e-05	OK
64	0.476	2.986e-04	OK	0.069	4.322e-05	OK
67	0.488	3.059e-04	OK	0.072	4.519e-05	OK
69	0.496	3.109e-04	OK	0.074	4.638e-05	OK
70	0.500	3.138e-04	OK	0.076	4.752e-05	OK
3	0.543	3.406e-04	OK	0.001	4.680e-07	OK
4	0.551	3.455e-04	OK	0.001	4.448e-07	OK
6	0.563	3.530e-04	OK	0.000	8.904e-08	OK
8	0.572	3.589e-04	OK	0.000	2.182e-07	OK
10	0.580	3.636e-04	OK	0.002	1.066e-06	OK
13	0.586	3.671e-04	OK	0.001	4.527e-07	OK
15	0.589	3.696e-04	OK	0.001	8.663e-07	OK
16	0.592	3.709e-04	OK	0.005	3.056e-06	OK
72	0.502	3.146e-04	OK	0.077	4.836e-05	OK
18	0.592	3.712e-04	OK	0.005	3.394e-06	OK

Tab. 5.16: Verifiche SLE - Spostamenti verticali

5.13.2 Spostamenti laterali

Per quanto riguarda gli spostamenti orizzontali in sommità Δ e quelli relativi di piano δ , questi devono generalmente limitarsi ad una frazione dell'altezza della struttura H e a quella dell'interpiano h rispetto al quale gli spostamenti δ sono considerati (Fig. 5.6). I valori limite utilizzati per la struttura in esame sono quelli presenti nelle tabelle della normativa¹⁰ relative agli edifici multipiano.

In particolare, sono state valutate le seguenti relazioni:

$$\frac{\delta}{h} < \frac{1}{300} \quad (5.26)$$

$$\frac{\Delta}{H} < \frac{1}{500} \quad (5.27)$$

Nella Tab. 5.17 e nella Tab. 5.18 sono riportati i risultati delle verifiche.

Nodo	Δ_x [mm]	Δ_x/H	< 1/500	Δ_y [mm]	Δ_y/H	< 1/500
18	0.001	6.905e-08	OK	0.001	7.995e-08	OK

¹⁰D.M. 2018 - Tab. 4.2.XIII

Nodo	Δ_x [mm]	Δ_x/H	$< 1/500$	Δ_y [mm]	Δ_y/H	$< 1/500$
36	0.000	5.079e-08	OK	0.001	7.666e-08	OK
54	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK
72	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK

Tab. 5.17: Verifiche SLE - Spostamenti laterali in sommità

www.feme.biz

Comb.	IPM	PPS	PPT	CSX	CSY	SSX	SSY
SLE RARE 1	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tab. 5.12: Verifiche SLE - combinazione di carico considerata

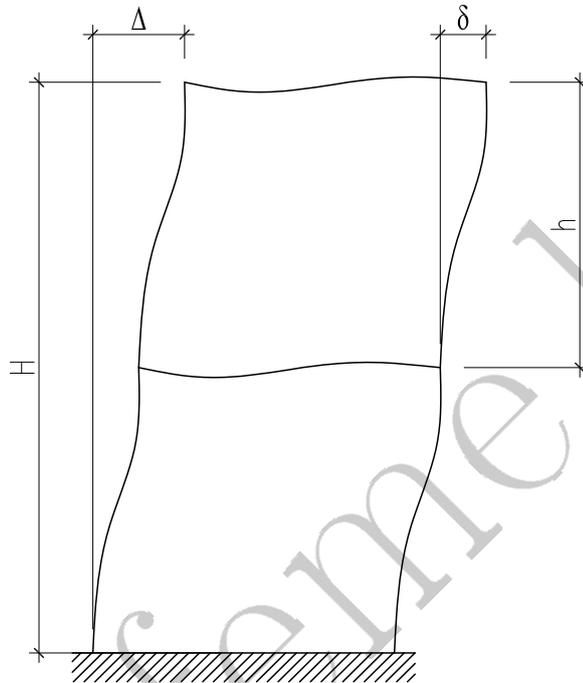


Fig. 5.6: SLE - Definizione degli spostamenti laterali.

Elem	Posiz.	h [m]	δ_x [mm]	δ_x/h	< 1/300	δ_y [mm]	δ_y/h	< 1/300
1	MNT1	0.120	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK
2	MNT1	0.100	0.001	9.147e-06	OK	0.001	7.525e-06	OK
3	MNT1	0.580	0.003	4.682e-06	OK	0.001	1.426e-06	OK
4	MNT1	0.300	0.004	1.210e-05	OK	0.000	2.478e-07	OK
5	MNT1	0.950	0.006	6.489e-06	OK	0.002	2.175e-06	OK
6	MNT1	0.293	0.005	1.751e-05	OK	0.001	3.464e-06	OK
7	MNT1	0.957	0.002	2.268e-06	OK	0.002	1.648e-06	OK
8	MNT1	0.170	0.004	2.245e-05	OK	0.001	6.671e-06	OK
9	MNT1	1.080	0.004	3.774e-06	OK	0.003	2.521e-06	OK
10	MNT1	0.300	0.003	1.155e-05	OK	0.000	2.818e-07	OK
11	MNT1	0.843	0.004	4.914e-06	OK	0.002	2.055e-06	OK
12	MNT1	0.107	0.003	2.950e-05	OK	0.001	1.004e-05	OK
13	MNT1	1.020	0.000	2.250e-07	OK	0.000	3.572e-07	OK
14	MNT1	0.230	0.005	2.036e-05	OK	0.002	6.679e-06	OK
15	MNT1	1.250	0.003	2.041e-06	OK	0.000	2.577e-07	OK
16	MNT1	0.743	0.003	3.384e-06	OK	0.001	8.242e-07	OK
17	MNT1	0.277	0.003	1.199e-05	OK	0.001	3.496e-06	OK

Elem	Posiz.	h [m]	δ_x [mm]	δ_x/h	< 1/300	δ_y [mm]	δ_y/h	< 1/300
18	MNT2	0.120	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK
19	MNT2	0.100	0.000	4.860e-06	OK	0.001	6.450e-06	OK
20	MNT2	0.580	0.000	8.379e-07	OK	0.001	1.112e-06	OK
21	MNT2	0.300	0.000	1.546e-06	OK	0.001	2.214e-06	OK
22	MNT2	0.950	0.005	5.159e-06	OK	0.001	1.474e-06	OK
23	MNT2	0.293	0.004	1.479e-05	OK	0.001	4.474e-06	OK
24	MNT2	0.957	0.003	2.782e-06	OK	0.001	7.876e-07	OK
25	MNT2	0.170	0.004	2.288e-05	OK	0.002	9.330e-06	OK
26	MNT2	1.080	0.001	1.041e-06	OK	0.000	7.278e-08	OK
27	MNT2	0.300	0.004	1.441e-05	OK	0.002	6.091e-06	OK
28	MNT2	0.843	0.006	6.713e-06	OK	0.002	2.758e-06	OK
29	MNT2	0.107	0.003	2.567e-05	OK	0.001	1.070e-05	OK
30	MNT2	1.020	0.002	2.427e-06	OK	0.003	2.663e-06	OK
31	MNT2	0.230	0.004	1.945e-05	OK	0.002	6.731e-06	OK
32	MNT2	1.250	0.005	3.697e-06	OK	0.000	2.590e-07	OK
33	MNT2	0.743	0.003	4.101e-06	OK	0.002	2.096e-06	OK
34	MNT2	0.277	0.005	1.629e-05	OK	0.000	4.844e-09	OK
35	MNT3	0.120	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK
36	MNT3	0.100	0.001	6.877e-06	OK	0.002	2.221e-05	OK
37	MNT3	0.580	0.000	7.546e-07	OK	0.010	1.665e-05	OK
38	MNT3	0.300	0.001	2.162e-06	OK	0.015	4.884e-05	OK
39	MNT3	0.950	0.006	6.488e-06	OK	0.029	3.057e-05	OK
40	MNT3	0.293	0.003	9.966e-06	OK	0.008	2.650e-05	OK
41	MNT3	0.957	0.001	1.381e-06	OK	0.036	3.729e-05	OK
42	MNT3	0.170	0.003	1.642e-05	OK	0.008	4.519e-05	OK
43	MNT3	1.080	0.000	3.154e-10	OK	0.020	1.806e-05	OK
44	MNT3	0.300	0.003	1.160e-05	OK	0.019	6.304e-05	OK
45	MNT3	0.843	0.004	4.608e-06	OK	0.004	4.752e-06	OK
46	MNT3	0.107	0.002	1.698e-05	OK	0.005	4.907e-05	OK
47	MNT3	1.020	0.001	1.386e-06	OK	0.037	3.644e-05	OK
48	MNT3	0.230	0.003	1.456e-05	OK	0.009	3.739e-05	OK
49	MNT3	1.250	0.005	3.759e-06	OK	0.029	2.291e-05	OK
50	MNT3	0.743	0.004	4.926e-06	OK	0.006	7.770e-06	OK
51	MNT3	0.277	0.004	1.584e-05	OK	0.014	5.149e-05	OK
52	MNT4	0.120	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK
53	MNT4	0.100	0.001	1.083e-05	OK	0.003	2.901e-05	OK
54	MNT4	0.580	0.003	5.832e-06	OK	0.008	1.380e-05	OK
55	MNT4	0.300	0.001	1.755e-06	OK	0.014	4.604e-05	OK
56	MNT4	0.950	0.011	1.158e-05	OK	0.035	3.706e-05	OK
57	MNT4	0.293	0.003	1.039e-05	OK	0.011	3.671e-05	OK
58	MNT4	0.957	0.000	2.477e-07	OK	0.034	3.545e-05	OK
59	MNT4	0.170	0.003	1.883e-05	OK	0.009	5.554e-05	OK
60	MNT4	1.080	0.003	3.140e-06	OK	0.019	1.796e-05	OK
61	MNT4	0.300	0.003	1.017e-05	OK	0.015	4.854e-05	OK
62	MNT4	0.843	0.003	3.640e-06	OK	0.008	1.004e-05	OK
63	MNT4	0.107	0.002	2.260e-05	OK	0.006	5.880e-05	OK
64	MNT4	1.020	0.001	9.726e-07	OK	0.036	3.542e-05	OK
65	MNT4	0.230	0.004	1.709e-05	OK	0.011	4.632e-05	OK
66	MNT4	1.250	0.003	2.019e-06	OK	0.032	2.556e-05	OK
67	MNT4	0.743	0.003	4.511e-06	OK	0.007	9.472e-06	OK
68	MNT4	0.277	0.003	1.120e-05	OK	0.014	5.146e-05	OK

Elem	Posiz.	h [m]	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
------	--------	-------	-----------------	--------------	-----------	-----------------	--------------	-----------

Tab. 5.18: Verifiche SLE - Spostamenti laterali di piano

5.14 Progettazione per azioni sismiche

In questa sezione verrà illustrato il metodo utilizzato per l'analisi e la verifica della struttura in esame in presenza delle azioni sismiche. Le verifiche agli stati limiti sono state effettuate sulla base delle seguenti ipotesi:

- la struttura è considerata come un sistema *non dissipativo*. Pertanto, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un **fattore di struttura q unitario** nelle direzioni X e Y;
- **la componente verticale del sisma non è considerata**. Tale ipotesi può essere assunta in quanto la struttura rispetta le condizioni dettate dalla normativa¹¹ che evidenziano i casi in cui la componente verticale deve essere considerata.

5.14.1 Metodo di analisi e modellizzazione

Per effetto dell'ipotesi di comportamento non dissipativo della struttura, secondo normativa, è possibile adottare un **modello lineare** non considerando la presenza di non linearità geometriche. L'analisi strutturale utilizzata per la progettazione e la verifica in presenza di azioni sismiche è di tipo **dinamico**. La forza sismica agente sull'*i*-esimo nodo della struttura è quindi proporzionali alle seguenti grandezze:

- masse nodali M_i ;
- forma dei modi considerati, indicati con *i* vettori $\{\Phi_i\}^k$;
- fattori di partecipazioni modali nelle direzioni del sisma Γ_x^k, Γ_y^k ;
- spettro di risposta di progetto S_e .

Pertanto le singole forze sismiche relative al *k*-esimo modo di vibrare possono essere calcolate con la formula:

$$F_{i,x,y}^k = M_i \cdot \Gamma_{x,y}^k \cdot \Phi_{i,x,y}^k \cdot S_e \quad (5.28)$$

dove i pedici *x* e *y* devono essere utilizzati in relazione alla direzione del sisma.

Dato che il fenomeno sismico non ha una prevalenza in termini di frequenza, gli effetti delle azioni relativi ai singoli modi devono essere combinati secondo un metodo di natura statistica. In questa trattazione è adottata una *combinazione quadratica completa* (CQC), indicata nell'espressione:

$$F_i = \left(\sum_k \sum_j \rho_{kj} F_i^k F_i^j \right)^{1/2} \quad (5.29)$$

dove, per semplicità, sono stati omissi i pedici *x* e *y* e dove ρ_{kj} è il coefficiente di correlazione tra il modo *k* e il modo *j*, calcolato con la formula:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 \beta_{kj}^{3/2}}{(1 + \beta_{kj}) [(1 - \beta_{kj})^2 + 4\xi^2 \beta_{kj}]} \quad (5.30)$$

¹¹D.M. 2018 - § 7.2.1

dove ξ è lo smorzamento viscoso dei modi considerati e $\beta = T_j/T_k$ è l'inverso del rapporto tra i periodi di vibrazione di ciascuna coppia k-j. Il valore di ξ assunto è pari al 5%.

Calcolo delle masse nodali

Per il calcolo delle azioni sismiche è necessario ricavare le masse che devono essere associate ad ogni nodo strutturale. Tali masse devono tenere in conto i carichi gravitazionali della struttura, quali:

- peso proprio degli elementi strutturali;
- peso proprio delle tamponature;
- peso proprio di eventuali passerelle di sbarco e carichi ad esse associati;
- peso proprio della cabina.

Al contrario delle verifiche agli SLU strutturali, per le verifiche in campo sismico il peso proprio della cabina deve essere considerato in quanto la struttura viene analizzata nel momento successivo all'azionamento del sistema di bloccaggio della cabina durante il sisma. Per evitare di modellizzare l'intero sistema cabina-guide di scorrimento e rendere il modello strutturale più semplice, pur mantenendo l'analisi conservativa, il progettista ha ritenuto opportuno tenere conto della presenza della cabina attraverso un sistema di masse concentrate ai nodi posti in corrispondenza dei punti di azionamento del paracadute. Nella 5.7 è mostrata la schematizzazione utilizzata per la creazione del modello in corrispondenza della zona del vano corsa in cui è posta la cabina.

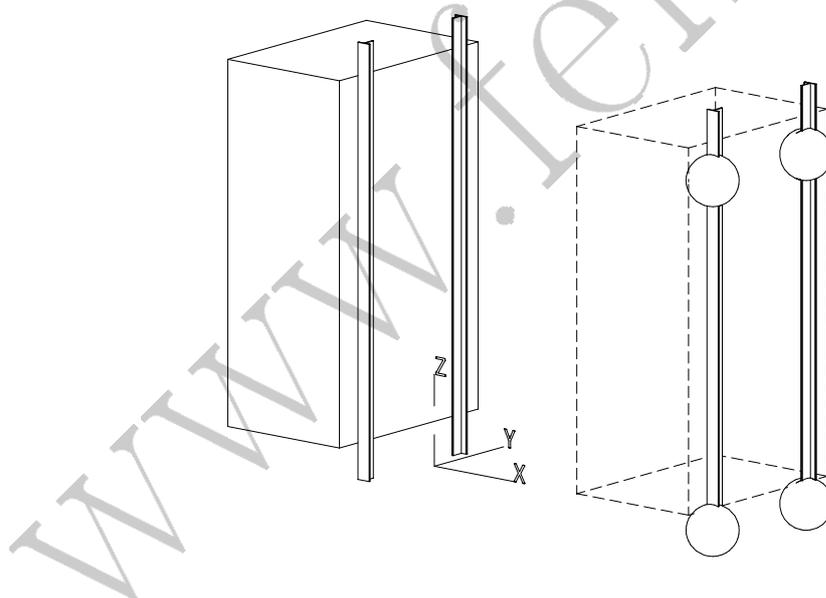


Fig. 5.7: Analisi dinamica - Distribuzione delle masse della cabina.

Il valore di ogni massa concentrata aggiuntiva è pari alla massa totale stimata della cabina, considerata con pieno carico, diviso il numero di nodi ai quali si considera agganciata la cabina stessa.

Nella Tab. 5.19 sono riportate i valori delle masse considerate per la creazione del modello.

Massa totale struttura	726.8 kg
Massa totale tamponature	1227.0 kg
Massa totale cabina (pieno carico)	438.8 kg
Massa totale	2392.7 kg

Tab. 5.19: Analisi Sismica - Masse del modello

Analisi modale

Le forze sismiche agenti sulla struttura sono valutate considerando la loro variabilità nello spazio attraverso il calcolo delle forme modali principali. E' pertanto necessaria un'analisi di dinamica libera che permetta di calcolare le frequenze e i modi propri di vibrare della struttura. Tale calcolo consiste nella risoluzione del problema agli autovalori associato al sistema omogeneo dato dalle equazioni del moto di dinamica libera:

$$[K - \omega_i^2 M] \cdot \{\Phi\}^i = 0 \quad (5.31)$$

dove ω_i e $\{\Phi\}^i$ sono, rispettivamente, la pulsazione propria e il vettore della forma relativi all'*i*-esimo modo di vibrazione. Le matrici $[K]$ e $[M]$ sono invece le matrici di rigidità e di massa della struttura ricavate con il metodo agli elementi finiti.

Per valutare quanta massa viene eccitata da un determinato modo nella direzione del sisma, sono calcolate le masse modali efficaci (m_x e m_y) e i fattori di partecipazione modali. Questi ultimi intervengono nel calcolo delle forze sismiche secondo la relazione già scritta nell'Eq. 5.28

Nella Tab. 5.20 sono riportati i risultati dell'analisi modale effettuata sulla struttura in esame. Le masse modali efficaci sono riportate in termini percentuali rispetto alla massa totale.

Modo	ω [rad/s]	Periodo [s]	Freq. [Hz]	m_x	m_y	Γ_x	Γ_y
1	58.142	0.108	9.25	0.0 %	10.8 %	0.003	1.467
2	60.049	0.105	9.56	0.0 %	8.7 %	-0.002	1.409
3	75.017	0.084	11.94	0.0 %	34.0 %	0.035	3.099
13	120.759	0.052	19.22	0.0 %	7.3 %	0.029	-6.509
18	131.070	0.048	20.86	6.0 %	0.0 %	-2.178	-0.179
23	167.359	0.038	26.64	31.4 %	0.0 %	-7.798	-0.247
26	197.059	0.032	31.36	8.4 %	0.3 %	4.353	0.877
Massa efficace totale dir. X				45.8%			
Massa efficace totale dir. Y				61.3%			

Tab. 5.20: Analisi modale - Risultati

Considerazioni sul numero di modi presi in esame

omissis

Spettro di risposta elastico in accelerazione

Uno dei parametri utili per il calcolo dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione. Per conoscere i parametri che intervengono nella determinazione dello spettro si rimanda alla lettura della normativa¹². Nella sezione denominata "Spettri di risposta" è contenuta

¹²D.M. 2018 - § 3.2

l'immagine che rappresenta lo spettro S_e in funzione del periodo T . Per mantenere il calcolo conservativo, si è scelto di valutare l'azione sismica in corrispondenza del tratto lineare dello spettro, costituito dai punti di maggiore intensità e individuato dalla relazione:

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \quad (5.32)$$

dove:

- a_g è l'accelerazione massima sul sito di riferimento;
- S è un coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento diversi da quello convenzionale del 5% (nel caso in esame il suo valore è unitario);
- F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale.

Nella Tab. 5.21 sono riportati i dati utili al calcolo dello spettro di risposta elastico.

Comune	Comune		
Municipio	-		
Latitudine	43.65854000		
Longitudine	13.15246000		
Zona sismica	2		
Vita nominale scelta	50		
Classe d'uso (I; II; III; IV)	II		
Coefficiente d'uso (0.7;1.0;1.5;2.0)	1.0		
Vita di riferimento	50		
Tipo di struttura	acciaio		
Categoria sottosuolo	C		
Categoria topografica	T1		
Quota relativa del rilievo [0-1]	1.0		
Quota zero sismico [m]	0.0		
S_T	1.0		
	SLV	SLD	SLO
a_g [m/s ²]	1.85	0.64	0.50
F_o	2.49	2.54	2.43
S_S	1.42	1.50	1.50
S_e [m/s ²]	6.52	2.46	1.82

Tab. 5.21: Spettro di risposta elastico - Dati per il calcolo

Spostamenti Imposti

Come accennato nella "Relazione tecnica illustrativa", nella fase di analisi sismica della struttura, oltre all'applicazione delle forze sismiche dovute all'accelerazione al suolo e proporzionali ai modi propri strutturali, sono stati imposti degli spostamenti ai nodi di ancoraggio all'edificio per simulare il movimento di quest'ultimo sotto l'azione sismica. In assenza di dati certi (risultanti da una analisi sismica dedicata) l'oscillazione di riferimento della SMVC, imposta dall'edificio alla torre metallica, può essere calcolata utilizzando la seguente relazione:

$$sp(Z) = \frac{1}{100} Z \frac{a_g S}{g} \quad (5.33)$$

dove:

- Z è la quota alla quale viene calcolato lo spostamento a partire dalla quota dello zero sismico che in questo caso è pari a 0.000 m.;
- a_g è la accelerazione orizzontale massima al suolo indotta dal sisma;
- $S = S_S S_T$ è un coefficiente di amplificazione sismica che tiene conto delle caratteristiche stratigrafiche (S_S) e topografiche (S_T) del terreno;
- g è l'accelerazione di gravità.

Nella Tab.5.22 sono riportati i nodi della struttura ai quali è stato imposto lo spostamento, la loro quota a partire dallo zero sismico e il modulo dello spostamento. E' inoltre riportato il valore dello spostamento moltiplicato per il coefficiente 0.3 presente nelle combinazioni sismiche. Per dare modo di verificare la bontà dei calcoli, nel capitolo denominato "Fascicolo dei calcoli", sono riportati gli spostamenti dei nodi di ancoraggio all'edificio ottenuti tramite la soluzione delle equazioni del modello agli elementi finiti.

Quota zero sismico = 0.000 m					
Nodo	Z [m]	sp(Z) [mm]		0.3 · sp(Z) [mm]	
		SLV	SLD	SLV	SLD
2	0.120	0.3	0.1	0.1	0.0
5	1.100	2.9	1.1	0.9	0.3
11	4.850	13.0	4.8	3.9	1.4
20	0.120	0.3	0.1	0.1	0.0
22	0.800	2.1	0.8	0.6	0.2
28	4.550	12.2	4.5	3.6	1.3
38	0.120	0.3	0.1	0.1	0.0
45	3.470	9.3	3.4	2.8	1.0
50	6.820	18.2	6.7	5.5	2.0
54	9.320	24.9	9.2	7.5	2.8
56	0.120	0.3	0.1	0.1	0.0
63	3.470	9.3	3.4	2.8	1.0
68	6.820	18.2	6.7	5.5	2.0
72	9.320	24.9	9.2	7.5	2.8

Tab. 5.22: Spostamenti sismici imposti

5.14.2 Verifica agli Stati Limite Ultimi

Data l'ipotesi di comportamento strutturale non dissipativo, la normativa¹³ consente di valutare la resistenza delle membrature in presenza di azioni sismiche applicando le regole adottate per gli stati limite strutturali. I risultati delle verifiche per tutte le combinazioni di carico sono riportati nella sezione denominata "Fascicolo dei calcoli".

5.14.3 Verifica agli Stati Limite di Danno (SLD) e di Operatività (SLO)

La normativa¹⁴ prescrive la verifica dell'eventualità che si abbiano danni agli elementi non strutturali dovuti all'azione sismica, tali da rendere la costruzione temporaneamente inagibile. Per le costruzioni civili ed industriali ricadenti nelle classi d'uso I e II tali verifiche possono essere svolte calcolando gli spostamenti di interpiano in presenza di azione sismica relativa allo SLV. Se i tamponamenti sono considerati collegati rigidamente alla struttura in modo tale da interferire con la deformabilità della stessa (è la condizione peggiore), lo spostamento di interpiano d_r deve

¹³D.M. 2018 - § 7.6

¹⁴D.M. 2018 - § 7.3.6

essere minore di $0.005h$, dove h è l'altezza del piano. Nel caso di costruzioni civili ed industriali di classe d'uso III e IV, la stessa verifica può essere svolta calcolando gli spostamenti di interpiano dovuti all'azione sismica relativa allo SLO. In questo caso i limiti esposti sopra devono essere ridotti di $2/3$. I risultati delle verifiche sono riportati nella sezione denominata "Fascicolo dei calcoli".

5.15 Unioni

5.15.1 Unioni Bullonate

Come indicato dalla normativa¹⁵, è stata effettuata la verifica di resistenza per le unioni presenti nella struttura in esame. La modellizzazione delle zone nodali prevede l'utilizzo di giunzioni bullonate soggette a trazione e taglio. Le caratteristiche geometriche della giunzione sono state ipotizzate pari ai valori estremi indicati dalla normativa¹⁶ dati in funzione del diametro d del bullone utilizzato. Con riferimento alla Fig. 5.8, le dimensioni delle caratteristiche geometriche sono riportate nella Tab. 5.23

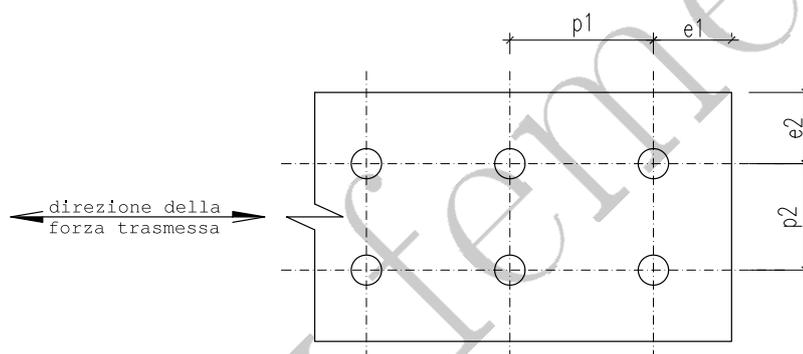


Fig. 5.8: Unioni - caratteristiche geometriche.

d_0	$d + 1 \text{ mm}$
e_1	$1.2d_0$
e_2	$1.2d_0$
p_1	$2.2d_0$
p_2	$2.4d_0$

Tab. 5.23: Unioni - caratteristiche geometriche

Nella Tab. 5.24 sono riportate le caratteristiche e il numero dei bulloni presenti nelle unioni tra gli elementi strutturali e in quelle poste in corrispondenza dei vincoli esterni.

Le verifiche effettuate in questa trattazione sono le seguenti:

- giunzione *montante-montante*. E' verificata la giunzione tra due parti del montante (elementi superiore e inferiore) e la piastra di collegamento. Si ipotizza che i nodi dove sono

¹⁵D.M.2018 - § 4.2.8

¹⁶D.M.2018 - Tab.4.2.XVIII

Tipo Unione	d [mm]	Classe	Numero
MNT-TRV	12	8.8	2
MNT-MNT	12	8.8	8
Anc. di base	16	8.8	2
Anc. edificio (se presenti)	16	8.8	2
Controventi	12	8.8	1

Tab. 5.24: Unioni - caratteristiche bulloni

presenti tali giunzioni siano tutti quelli dove è presente almeno un traverso. La verifica è effettuata confrontando le resistenze a taglio e trazione dei bulloni e quelle a rifollamento e punzonamento del montante;

- giunzione *montante-traverso*. In questo caso viene considerato come più debole l'elemento avente spessore minore;
- giunzione *piastra di base-fondazione*. Per questa verifica vengono confrontate le resistenze della piastra di base e dei bulloni utilizzati per il collegamento;
- giunzione *montante-edificio*. Se la struttura è ancorata ad un edificio esistente è verificato anche il collegamento di ancoraggio. In particolare sono confrontate le resistenze del montante e dei bulloni di collegamento;
- giunzione *controvento-montante*. Per questa giunzione viene effettuata la verifica a taglio sul/i bullone/i e la piastra di collegamento.

La resistenza di calcolo a taglio dei bulloni può essere calcolata utilizzando le formule

$$F_{v,Rd} = 0.6f_{tb}A_{res}/\gamma_{M2} \quad \text{per bulloni di classe 4.6, 5.6 e 8.8} \quad (5.34)$$

$$F_{v,Rd} = 0.5f_{tb}A_{res}/\gamma_{M2} \quad \text{per bulloni di classe 6.8 e 10.9} \quad (5.35)$$

dove f_{tb} è la tensione a rottura del materiale utilizzato per i bulloni, A_{res} è l'area resistente della vite e $\gamma_{M2} = 1.25$ è il coefficiente di sicurezza per la verifica.

Dopo aver individuato gli elementi del collegamento aventi spessore minimo, è possibile ricavare la resistenza a rifollamento dell'unione. Per spessori minori di 4 mm si ha:

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \cdot \alpha_b \cdot k_t \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (5.36)$$

dove

$$\alpha_b = \min \left[1; \frac{e_1}{3d} \right] \quad (5.37)$$

$$k_t = \frac{0.8 \cdot t + 1.5}{2.5} \quad \text{per } t \leq 1.25\text{mm} \quad ; k_t = 1 \quad \text{per } t > 1.25\text{mm} \quad (5.38)$$

e f_{tk} è la resistenza a rottura del materiale dell'elemento avente spessore minimo t .

Se lo spessore minimo è maggiore o uguale a 4 mm la resistenza a rifollamento diventa:

$$F_{b,Rd} = \frac{\alpha \cdot k \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (5.39)$$

dove α e k sono parametri che dipendono dalla geometria del bullone e dalla sua posizione all'interno della giunzione. I valori dei due parametri sono riportati nelle NTC e, in assenza di dati riguardanti la posizione dei bulloni, sono presi i valori minimi consentiti dalla normativa. In particolare, si considera $\alpha = 0.4$ e $k = 1.66$

Le resistenze di calcolo a trazione dei bulloni e a punzonatura dell'elemento strutturale avente spessore minimo sono invece calcolate, rispettivamente, con le seguenti formule:

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} \quad (5.40)$$

$$B_{p,Rd} = 0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_{tk} / \gamma_{M2} \quad (5.41)$$

dove d_m è il minimo tra il diametro del dado e il diametro medio della testa del bullone.

Nel caso di presenza combinata di trazione e taglio, la verifica delle giunzioni è effettuata utilizzando la seguente formula di interazione:

$$\eta_u = \frac{F_{v,Ed}}{R_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4R_{t,Rd}} \leq 1 \quad (5.42)$$

dove $F_{v,Ed}$ e $F_{t,Ed}$ sono, rispettivamente, le sollecitazioni di taglio e trazione agenti sulla giunzione, mentre $R_{v,Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\}$ e $R_{t,Rd} = \min \{F_{t,Rd}; B_{p,Rd}\}$.

5.15.2 Considerazioni sulla direzione dei carichi

A scopo esemplificativo, nella Fig.5.9 è rappresentato il particolare costruttivo di una giunzione.

Se si osserva la distribuzione dei bulloni sul montante, risulta evidente che una sollecitazione lungo una direzione nel sistema di riferimento globale della struttura sia di taglio per alcuni bulloni e di trazione per altri. Tale fenomeno deve essere tenuto in conto durante la fase di verifica. Nella Fig.5.9 è mostrata una giunzione *montante-traverso* caratterizzata da un attacco di tipo *frontale* per il quale una sollecitazione lungo l'asse di traverso sia di taglio per il collegamento. Una soluzione costruttiva alternativa può essere quella che utilizza un attacco *laterale* (Fig.5.10, dove la sollecitazione lungo il traverso è di trazione (o compressione) per il collegamento. Per facilitare una verifica automatica evitando l'ispezione delle singole unioni, il calcolo dello sfruttamento viene effettuato per entrambe le soluzioni costruttive.

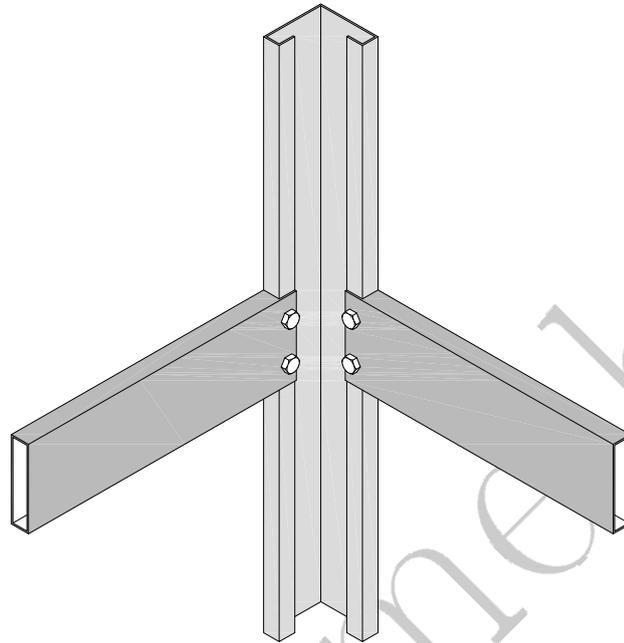
Per lo stesso motivo, la verifica per i tasselli di ancoraggio all'edificio è effettuata considerando tutte le direzioni possibili di collegamento senza tener conto della reale posizione dell'edificio rispetto alla struttura.

5.15.3 Lettura delle tabelle di verifica

A scopo esemplificativo, nella Tab. 5.25 sono riportati i risultati di una verifica per alcuni nodi caratteristici.

Le colonne della tabella si riferiscono alle seguenti caratteristiche:

- numero del *nodo* verificato. La numerazione dei nodi è quella riportata nel “*Fascicolo dei calcoli*”;
- numero identificativo degli *elementi* aventi il nodo in comune;
- *tipo di giunzione*.
- valore dello *sfruttamento* η_u calcolato secondo l'Eq. 5.42;

Fig. 5.9: Unioni - Particolare giunzione montante-traverso con attacco *frontale*.

Nodo	Elem.	Giunz.	η_u [%]	<100
1	1	Anc. Base MNT1	1.36	OK
35	32-33-61	MNT1 inf. - piastra lato y	2.42	OK
		MNT1 inf. - piastra lato x	1.71	OK
		MNT1 sup. - piastra lato y	0.73	OK
		MNT1 sup. - piastra lato x	0.58	OK
		MNT1-TRV1 attacco laterale	2.36	OK
		MNT1-TRV1 attacco frontale	2.33	OK
		Ancoraggio MNT3-Sud	33.21	OK
		Ancoraggio MNT3-Est	31.17	OK
52	48-63-91-93	MNT4-TRV _ CH2 attacco laterale	0.60	OK
		MNT4-TRV _ CH2 attacco frontale	0.58	OK
		MNT4-TRV _ CH4 attacco laterale	6.34	OK
		MNT4-TRV _ CH4 attacco frontale	16.43	OK
		CTV copert. elem. 93	11.21	OK
		Ancoraggio MNT4-Sud	42.61	OK
		Ancoraggio MNT4-Ovest	58.36	OK

Tab. 5.25: Unioni - Esempio di verifica

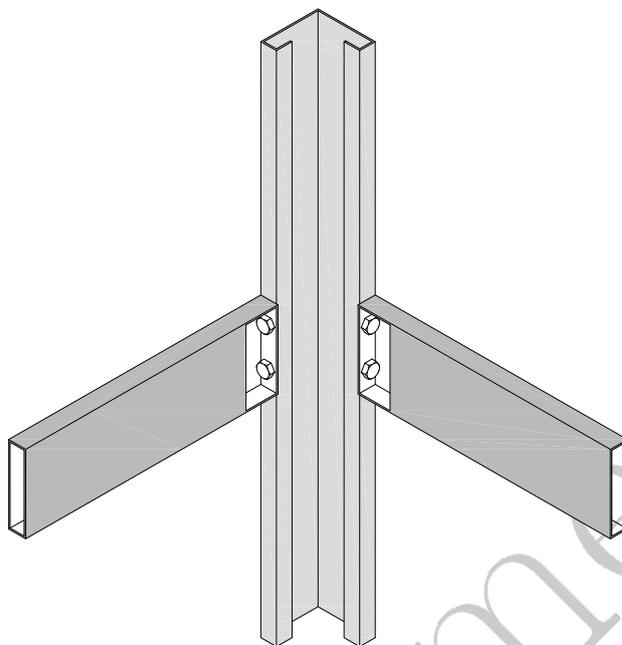


Fig. 5.10: Unioni - Particolare giunzione montante-traverso con attacco *laterale*.

- esito della verifica. La stringa “OK” indica uno sfruttamento minore del 100%, mentre la stringa “NO” indica uno sfruttamento maggiore.

5.16 Verifica norma EN 81-1/2:2010

Le norme europee EN 81-1/2:2010 per la sicurezza durante le fasi di costruzione, installazione, utilizzo e manutenzione degli impianti elevatori prevedono delle limitazioni sull’ampiezza delle frecce delle guide nei punti in cui interviene il paracadute¹⁷. Tali limitazioni sono state calcolate con lo scopo di ottenere l’esercizio sicuro dell’impianto, ipotizzando che le guide siano ancorate, per mezzo di opportune staffe, ad una struttura che può essere legata ad un edificio esistente. Per le guide della cabina e della massa di bilanciamento sulle quali interviene il paracadute, le massime frecce ammissibili nelle direzioni X e Y, devono essere pari a 5 mm.

E’ da ricordare che la verifica alla resistenza secondo le NTC 2018, garantisce che gli elementi che compongono la struttura non raggiungano lo snervamento. Pertanto, gli spostamenti e le deformazioni a seguito dell’applicazione del carico da paracadute non sono da ritenersi permanenti. Tale comportamento permette il corretto funzionamento dell’impianto anche dopo l’intervento dei dispositivi di sicurezza.

Le combinazioni di carico utilizzate sono tutte quelle analizzate per le verifiche descritte in precedenza con una variazione sulle combinazioni nelle quali sono presenti le azioni sismiche.

¹⁷EN 81-1/2:2010 - § 10.1

Per queste particolari combinazioni, infatti, sono stati eliminati gli effetti dovuti allo spostamento dell'edificio, in quanto avrebbero fornito risultati in termini di spostamenti non pertinenti al problema affrontato dalle norme (la freccia delle guide deve essere calcolata nel sistema di riferimento relativo alla struttura dell'impianto). Bisogna considerare, però, che la normativa sugli impianti elevatori non indica alcun limite sulle massime frecce ammissibili in caso di evento sismico, che comunque si presenta con una frequenza più bassa rispetto all'azionamento del paracadute. Per tale motivo la verifica è stata effettuata solo per la combinazione eccezionale (l'unica in cui è presente l'azione dovuta al paracadute), mentre i valori degli spostamenti per le altre combinazioni sono riportati nel fascicolo dei calcoli solo per completezza. I valori degli spostamenti calcolati per la verifica sono stati valutati nel sistema di riferimento relativo alle traverse sulle quali sono applicati i carichi da paracadute, eliminando gli eventuali moti rigidi dovuti allo spostamento dei montanti.

Le azioni dovute al paracadute sono applicate nella configurazione che ha prodotto gli spostamenti massimi sulle guide (condizione di massimo spostamento). Nella Tab. 5.26 sono riportati le forze e i relativi nodi di applicazione, mentre nella Fig. 5.11 è rappresentato il diagramma delle stesse forze.

Nodo	F_x [N]	F_y [N]
88	-3100.0	-400.0
90	-3100.0	0.0
94	3100.0	0.0
96	3100.0	400.0

Tab. 5.26: Verifica norma EN 81-2:2010 - Moduli delle forze dovute al paracadute e nodi di applicazione.

5.17 Conclusioni

Dopo aver installato la struttura metallica e dopo averla ancorata in modo definitivo alla piastra di fondazione (e prima del posizionamento della tamponatura) è necessario verificare che la struttura possa oscillare nella misura sopra descritta senza manifestare danni strutturali. Il calcolo strutturale rigoroso di una SMVC può essere eseguito solo in 2 condizioni distinte:

1. calcolo della struttura metallica unitamente all'edificio: in tal caso occorre disporre preventivamente del progetto strutturale completo dell'edificio, del relativo collaudo statico-sismico e dei relativi tabulati di calcolo. Sulla base dei dati così acquisiti, e di eventuali ulteriori rilievi, è possibile ricostruire un modello unico dell'insieme edificio - SMVC e procedere alle necessarie nuove calcolazioni e verifiche.
2. calcolo della struttura metallica considerata completamente isolata ed indipendente dal fabbricato cui è asservita: in tal caso la struttura deve sostenere da sola i carichi statici, dinamici e sismici, limitando le oscillazioni a quelle consentite dalla meccanica dell'impianto (pochi mm); la limitazione, che spesso pregiudica la possibilità di realizzare l'installazione, consiste:
 - (a) nella necessità di rispettare le distanze minime edificio - SMVC (sia per strutture esterne che per strutture interne agli edifici) per evitare fenomeni di interferenza reciproca in caso di sisma (martellamento);
 - (b) nella necessità di impiegare profili metallici pesanti e di realizzare platee di fondazione imponenti ed indipendenti dalle fondazioni anche già per impianti di modesta portata.

Ogni altro tipo di approccio e di calcolo, compreso quello qui descritto, è da ritenersi approssimato dal momento che prescinde dalla conoscenza dell'edificio e dalla sua reale risposta sismica. In base ai dati disponibili, alle ipotesi assunte ed ai calcoli eseguiti è possibile affermare che in nessun punto della struttura vengono superati gli stati limite ultimi secondo quanto stabilito

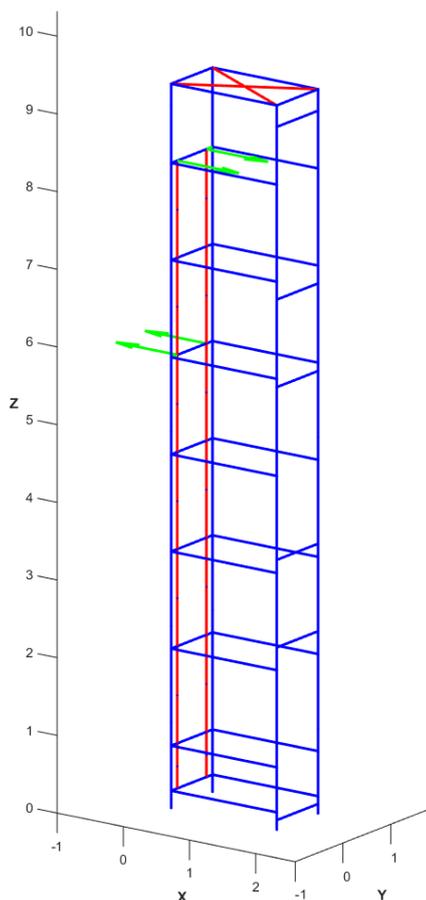


Fig. 5.11: Verifica norma EN 81-2:2010 - Grafico delle forze dovute al paracadute.

dalla normativa attualmente in vigore. La SMVC è pertanto idonea a sostenere le sollecitazioni indotte dall'installazione ed all'esercizio dell'impianto elevatore, purché ancorata all'edificio come descritto. L'edificio deve possedere requisiti tali da manifestare, in caso di sisma, una oscillazione massima orizzontale pari a 24.9 mm in sommità (ed inferiore a 24.9 mm ai piani inferiori). Nel caso in cui la testata della SMVC sia libera (ovverosia superi l'altezza dell'edificio) l'oscillazione imposta alla torre è valutata all'altezza dell'ultimo sbarco (colmo dell'edificio). Ferme restando le considerazioni sopra esposte, in merito alle azioni complete che la SMVC può trasmettere all'edificio cui è legata:

- durante il normale esercizio,
- all'intervento dei dispositivi di sicurezza,
- in caso di sisma o vento,

è necessaria una valutazione separata delle strutture murarie interessate; detta valutazione esula espressamente dalla presente relazione tecnica. La struttura va realizzata come descritto nella presente relazione tecnica e nel progetto allegato. Qualsiasi modifica va comunicata al progettista

che provvederà ad eseguire nuovamente il calcolo ed a trasmettere i relativi risultati. Il progettista non si assume alcuna responsabilità per realizzazioni non conformi a quanto progettato ed espressamente descritto.

Resp. di progetto	DEMO	info@feme.biz
Resp. elaborazione calcolo	DEMO	info@feme.biz
Resp. redazione elaborati grafici	DEMO	info@feme.biz
Resp. codice di calcolo	DEMO	info@feme.biz

DEMO

www.feme.biz

6. Fascicolo dei calcoli

6.1 Dati di input

CARATTERISTICHE GENERALI DELL'IMPIANTO ELEVATORE	
Tipo impianto	Oleodinamico in taglia
Portata	250.0 kg
Capienza	3 persone
Corsa	6700 mm
Fossa	180 mm
Testata	2500 mm
Fermate	3
Velocità	0.15 m/s
Scartamento guide	510 mm
Passo ancoraggio staffe guide	800-1250 (lato meccanica) mm
Guide cabina dir. X	310 daN
Guide cabina dir. Y	40 daN
Guide cabina dir. Z	910 daN
Guide contropeso dir. X	NP daN
Guide contropeso dir. Y	NP daN
Guide contropeso dir. Z	NP daN
Ammortizzatori cabina	ND daN
Ammortizzatori contropeso	NP daN
Intervento della valvola di blocco	1270 daN
Ganci montaggio e manutenzione	NP daN

(ND: valore non disponibile; NP: valore non pertinente)

AZIONI ESTERNE	
<i>Azioni permanenti verticali</i>	
- Peso proprio della struttura metallica (stimato)	713.0 daN
- Peso delle tamponature del vano corsa (stimato)	0.320 daN/cm
<i>Azioni variabili orizzontali (intervento del paracadute cabina)</i>	
- Spinta sulle guide in direzione X, FX	310 daN
- Spinta sulle guide in direzione Y, FY	40 daN
<i>Azioni variabili orizzontali (sisma)</i>	
- Carico da sisma (spostamento massimo indotto dall'edificio)	24.9 mm
- Carico da sisma (analisi dinamica)	
<i>Masse per la determinazione del carico sismico</i>	
- Massa della struttura	726.8 kg
- Massa delle tamponature	1227.0 kg
- Massa cabina (con max portata)	438.8 kg
- Massa totale	2392.7 kg

(ND: valore non disponibile; NP: valore non pertinente)

6.2 Riferimenti normativi e esito verifiche

Verifica	Norma	Paragrafo	Formula	Esito
SLU Resistenza membrature	D.M.2018	4.2.4.1.2	4.2.39	OK
SLU Stabilità membrature (Metodo A)	D.M.2008/2018	C.4.2.4.1.3.3	C.4.2.36	OK
Verifica snellezze	D.M.2018	4.2.4.1.3	4.2.47	OK
SLE spostamenti laterali e verticali	D.M.2018	4.2.4.2	Tab. 4.2.XII - 4.2.XIII	OK
SLD/SLO contenimento danno el. non strutturali	D.M.2018	7.3.6.1	7.3.11	OK
Unioni bullonate	D.M.2018	4.2.8.1.1	4.2.71	OK
Unioni saldate	D.M.2018	4.2.8.2.4	4.2.84 - 4.2.85	OK
Freccie guide	EN 81-2:2010	10.1	10.1.2.2	OK

Tutte le verifiche hanno avuto esito **positivo**.

6.3 Spostamenti

In questa sezione sono riportati i valori degli spostamenti dei primi 10 nodi strutturali ricavati dall'analisi di alcune combinazioni di carico. Tutti i risultati sono contenuti nella relazione tecnica completa.

Spostamenti NODO 1			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	0.0e+00	0.0e+00	-5.5e-01
SLV SIS 1	-0.0e+00	-0.0e+00	-1.2e+00
SLE RARE 1	0.0e+00	0.0e+00	-5.4e-01

Spostamenti NODO 3			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	-9.0e-04	7.5e-04	-5.6e-01
SLV SIS 1	-5.8e-01	-1.6e-01	-1.2e+00
SLE RARE 1	-9.1e-04	7.5e-04	-5.4e-01

Spostamenti NODO 5			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	0.0e+00	0.0e+00	-5.7e-01
SLV SIS 1	-2.9e+00	-8.8e-01	-1.3e+00
SLE RARE 1	0.0e+00	0.0e+00	-5.5e-01

Spostamenti NODO 7			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	-2.4e-02	8.8e-03	-5.8e-01
SLV SIS 1	-6.3e+00	-1.9e+00	-1.3e+00
SLE RARE 1	1.0e-03	-3.1e-03	-5.7e-01

Spostamenti NODO 9			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	-4.2e-03	1.9e-02	-5.9e-01
SLV SIS 1	-9.3e+00	-2.7e+00	-1.3e+00
SLE RARE 1	-6.1e-04	-2.6e-03	-5.7e-01

Spostamenti NODO 2			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	0.0e+00	0.0e+00	-5.6e-01
SLV SIS 1	-3.2e-01	-9.6e-02	-1.2e+00
SLE RARE 1	0.0e+00	0.0e+00	-5.4e-01

Spostamenti NODO 4			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	-2.6e-03	-2.0e-04	-5.7e-01
SLV SIS 1	-2.1e+00	-6.3e-01	-1.2e+00
SLE RARE 1	-3.6e-03	-7.4e-05	-5.5e-01

Spostamenti NODO 6			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	-1.5e-02	6.4e-03	-5.8e-01
SLV SIS 1	-5.6e+00	-1.7e+00	-1.3e+00
SLE RARE 1	6.2e-03	-2.1e-03	-5.6e-01

Spostamenti NODO 8			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	-6.8e-03	2.3e-02	-5.9e-01
SLV SIS 1	-8.8e+00	-2.7e+00	-1.3e+00
SLE RARE 1	3.2e-03	-1.5e-03	-5.7e-01

Spostamenti NODO 10			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLU ECC 1	3.9e-02	-8.1e-04	-6.0e-01
SLV SIS 1	-1.2e+01	-3.7e+00	-1.3e+00
SLE RARE 1	3.5e-03	8.5e-05	-5.8e-01

6.4 Caratteristiche di resistenza

In questa sezione sono riportate le caratteristiche di resistenza dei primi 10 elementi finiti che compongono il modello strutturale. Tutti i risultati sono contenuti nella relazione tecnica completa.

Elem. 1		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 2		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 3		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 4		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 5		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 6		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 7		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 8		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 9		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	
Elem. 10		Sez. M40001			Classe 3
A/A_{eff} [mm ²]	$W_2^+/W_{\text{eff},2}^+$ [mm ⁴]	$W_2^-/W_{\text{eff},2}^-$ [mm ⁴]	$W_3^+/W_{\text{eff},3}^+$ [mm ⁴]	$W_3^-/W_{\text{eff},3}^-$ [mm ⁴]	
1.224e+03	3.186e+04	3.186e+04	1.415e+04	1.415e+04	

6.5 Sollecitazioni

In questa sezione sono riportate le sollecitazioni agenti sui primi 10 elementi strutturali ricavate dall'analisi di alcune combinazioni di carico. Tutti i risultati sono contenuti nella relazione tecnica completa.

Elem. 1 - Nodo 2						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	5.53e+02	-2.44e+01	3.33e+01	-1.08e-20	-4.00e+00	-2.93e+00
SLV SIS 1	1.22e+03	-5.88e+01	-1.45e+02	2.95e-19	1.74e+01	-7.06e+00
SLE RARE 1	5.38e+02	-2.50e+01	3.42e+01	-1.79e-21	-4.11e+00	-3.00e+00
Elem. 1 - Nodo 1						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-5.54e+02	2.44e+01	-3.33e+01	1.08e-20	-3.54e-11	-1.77e-11
SLV SIS 1	-1.22e+03	5.88e+01	1.45e+02	-2.95e-19	-8.19e-11	-4.13e-11
SLE RARE 1	-5.39e+02	2.50e+01	-3.42e+01	1.79e-21	-2.47e-11	-1.14e-11
Elem. 2 - Nodo 3						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	5.52e+02	-5.85e+01	1.33e+01	9.71e-16	-5.33e+00	-8.78e+00
SLV SIS 1	1.22e+03	-7.40e+02	-1.24e+02	7.72e-15	2.98e+01	-8.11e+01
SLE RARE 1	5.37e+02	-5.68e+01	1.07e+01	8.43e-16	-5.17e+00	-8.68e+00
Elem. 2 - Nodo 2						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-5.53e+02	5.85e+01	-1.33e+01	-9.71e-16	4.00e+00	2.93e+00
SLV SIS 1	-1.22e+03	7.40e+02	1.24e+02	-7.72e-15	-1.74e+01	7.06e+00
SLE RARE 1	-5.38e+02	5.68e+01	-1.07e+01	-8.43e-16	4.11e+00	3.00e+00
Elem. 3 - Nodo 4						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	3.56e+02	-1.48e+01	1.43e+01	2.96e-04	-3.59e+00	-3.27e+00
SLV SIS 1	6.41e+02	-2.04e+02	-6.66e+01	-2.16e-03	1.76e+01	-6.08e+01
SLE RARE 1	3.44e+02	-1.39e+01	1.23e+01	5.12e-04	-3.01e+00	-3.04e+00
Elem. 3 - Nodo 3						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-3.62e+02	1.48e+01	-1.43e+01	-2.96e-04	-4.70e+00	-5.28e+00
SLV SIS 1	-6.46e+02	2.04e+02	6.66e+01	2.16e-03	2.11e+01	-5.76e+01
SLE RARE 1	-3.50e+02	1.39e+01	-1.23e+01	-5.12e-04	-4.15e+00	-5.00e+00
Elem. 4 - Nodo 5						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	2.55e+02	-1.56e+01	2.64e+01	-5.93e-04	-1.59e+00	-1.53e+00
SLV SIS 1	4.82e+02	-1.60e+02	-7.72e+01	-2.77e-03	-1.07e+01	2.36e+00
SLE RARE 1	2.48e+02	-9.51e+00	1.93e+01	-2.91e-04	4.80e-01	2.00e-01
Elem. 4 - Nodo 4						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-2.58e+02	1.56e+01	-2.64e+01	5.93e-04	-6.33e+00	-3.14e+00
SLV SIS 1	-4.85e+02	1.60e+02	7.72e+01	2.77e-03	3.39e+01	-5.03e+01
SLE RARE 1	-2.51e+02	9.51e+00	-1.93e+01	2.91e-04	-6.27e+00	-3.05e+00
Elem. 5 - Nodo 6						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	2.46e+02	1.13e+00	1.41e+00	-5.93e-04	-2.92e+00	-4.61e-01
SLV SIS 1	4.73e+02	-2.73e+01	-4.30e+01	-2.77e-03	3.02e+01	-2.36e+01
SLE RARE 1	2.39e+02	-1.88e+00	4.77e+00	-2.91e-04	-4.05e+00	-1.59e+00

Elem. 5 - Nodo 5						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-2.55e+02	-1.13e+00	-1.41e+00	5.93e-04	1.59e+00	1.53e+00
SLV SIS 1	-4.82e+02	2.73e+01	4.30e+01	2.77e-03	1.07e+01	-2.36e+00
SLE RARE 1	-2.48e+02	1.88e+00	-4.77e+00	2.91e-04	-4.80e-01	-2.00e-01

Elem. 6 - Nodo 7						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	2.10e+02	6.21e-01	6.00e+00	2.25e-03	3.49e+00	7.88e-01
SLV SIS 1	4.64e+02	-5.94e+01	-2.73e+01	1.41e-03	-7.12e+00	2.07e+01
SLE RARE 1	1.97e+02	-1.64e+00	6.54e+00	7.47e-05	2.26e+00	6.13e-01

Elem. 6 - Nodo 6						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-2.12e+02	-6.21e-01	-6.00e+00	-2.25e-03	-5.25e+00	-6.06e-01
SLV SIS 1	-4.67e+02	5.94e+01	2.73e+01	-1.41e-03	1.51e+01	-3.81e+01
SLE RARE 1	-2.00e+02	1.64e+00	-6.54e+00	-7.47e-05	-4.17e+00	-1.09e+00

Elem. 7 - Nodo 8						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	2.00e+02	6.21e-01	6.00e+00	2.25e-03	-2.25e+00	1.38e+00
SLV SIS 1	4.55e+02	-5.96e+01	-2.47e+01	1.41e-03	1.65e+01	-3.64e+01
SLE RARE 1	1.88e+02	-1.64e+00	6.54e+00	7.47e-05	-4.00e+00	-9.60e-01

Elem. 7 - Nodo 7						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-2.10e+02	-6.21e-01	-6.00e+00	-2.25e-03	-3.49e+00	-7.88e-01
SLV SIS 1	-4.64e+02	5.96e+01	2.47e+01	-1.41e-03	7.12e+00	-2.07e+01
SLE RARE 1	-1.97e+02	1.64e+00	-6.54e+00	-7.47e-05	-2.26e+00	-6.13e-01

Elem. 8 - Nodo 9						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	1.60e+02	-9.20e+00	1.44e+01	-7.37e-03	5.52e+00	3.39e+00
SLV SIS 1	4.20e+02	-4.49e+01	-4.05e+01	7.86e-03	-1.95e+01	2.14e+01
SLE RARE 1	1.57e+02	-1.49e+00	6.44e+00	-1.57e-04	2.97e+00	6.69e-01

Elem. 8 - Nodo 8						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-1.61e+02	9.20e+00	-1.44e+01	7.37e-03	-7.96e+00	-4.96e+00
SLV SIS 1	-4.22e+02	4.49e+01	4.05e+01	-7.86e-03	2.64e+01	-2.91e+01
SLE RARE 1	-1.59e+02	1.49e+00	-6.44e+00	1.57e-04	-4.06e+00	-9.23e-01

Elem. 9 - Nodo 10						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	1.49e+02	-9.20e+00	1.44e+01	-7.37e-03	-1.00e+01	-6.54e+00
SLV SIS 1	4.10e+02	-4.53e+01	-4.02e+01	7.86e-03	2.40e+01	-2.75e+01
SLE RARE 1	1.47e+02	-1.49e+00	6.44e+00	-1.57e-04	-3.99e+00	-9.45e-01

Elem. 9 - Nodo 9						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-1.60e+02	9.20e+00	-1.44e+01	7.37e-03	-5.52e+00	-3.39e+00
SLV SIS 1	-4.20e+02	4.53e+01	4.02e+01	-7.86e-03	1.95e+01	-2.14e+01
SLE RARE 1	-1.57e+02	1.49e+00	-6.44e+00	1.57e-04	-2.97e+00	-6.69e-01

Elem. 10 - Nodo 11						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	1.42e+02	-3.52e+01	1.44e+02	-5.39e-02	-4.69e+01	-1.71e+01
SLV SIS 1	2.80e+02	-1.10e+02	-1.07e+02	3.01e-02	1.11e+01	2.46e+01
SLE RARE 1	1.21e+02	1.65e+00	7.20e+00	7.33e-05	1.85e+00	7.62e-01

Elem. 10 - Nodo 10						
	N [daN]	T _y [daN]	T _z [daN]	M _t [daNm]	M _y [daNm]	M _z [daNm]
SLU ECC 1	-1.45e+02	3.52e+01	-1.44e+02	5.39e-02	3.68e+00	6.55e+00
SLV SIS 1	-2.83e+02	1.10e+02	1.07e+02	-3.01e-02	2.09e+01	-5.77e+01
SLE RARE 1	-1.24e+02	-1.65e+00	-7.20e+00	-7.33e-05	-4.01e+00	-2.68e-01

6.6 Verifiche SLU - Resistenza

In questa sezione sono riportati i risultati delle verifiche di resistenza per i primi 10 elementi strutturali ricavate dall'analisi di alcune combinazioni di carico. Tutti i risultati sono contenuti nella relazione tecnica completa.

Elem. 1						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	6.59e+00	-6.94e-02	-5.27e-01	5.31e-01	2.94	OK
SLV SIS 1	2.45e+01	1.59e+00	7.88e-01	1.77e+00	10.95	OK

Elem. 2						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	9.37e+00	-6.94e-02	-5.27e-01	5.31e-01	4.19	OK
SLV SIS 1	7.68e+01	1.59e+00	7.88e-01	1.77e+00	34.30	OK

Elem. 3						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	5.46e+00	-7.12e-02	-5.29e-01	5.33e-01	2.44	OK
SLV SIS 1	5.40e+01	1.60e+00	8.01e-01	1.79e+00	24.13	OK

Elem. 4						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	5.80e+00	-6.58e-02	-5.23e-01	5.27e-01	2.59	OK
SLV SIS 1	4.97e+01	1.61e+00	8.05e-01	1.80e+00	22.19	OK

Elem. 5						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	3.99e+00	-6.58e-02	-5.23e-01	5.27e-01	1.78	OK
SLV SIS 1	3.22e+01	1.61e+00	8.05e-01	1.80e+00	14.39	OK

Elem. 6						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	5.35e+00	-8.33e-02	-5.41e-01	5.47e-01	2.39	OK
SLV SIS 1	3.55e+01	1.58e+00	7.79e-01	1.76e+00	15.86	OK

Elem. 7						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	4.01e+00	-8.33e-02	-5.41e-01	5.47e-01	1.79	OK
SLV SIS 1	3.45e+01	1.58e+00	7.79e-01	1.76e+00	15.43	OK

Elem. 8						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	5.69e+00	-2.40e-02	-4.81e-01	4.82e-01	2.54	OK
SLV SIS 1	3.17e+01	1.54e+00	7.39e-01	1.71e+00	14.18	OK

Elem. 9						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	6.64e+00	-2.40e-02	-4.81e-01	4.82e-01	2.97	OK
SLV SIS 1	2.98e+01	1.54e+00	7.39e-01	1.71e+00	13.33	OK

Elem. 10						
	σ [N/mm ²]	τ_{12} [N/mm ²]	τ_{13} [N/mm ²]	τ [N/mm ²]	η_r [%]	≤ 100
SLU ECC 1	3.02e+01	2.63e-01	-1.95e-01	3.27e-01	13.51	OK
SLV SIS 1	4.98e+01	1.40e+00	6.02e-01	1.53e+00	22.24	OK

6.7 Verifiche SLU - Stabilità

In questa sezione sono riportati i risultati delle verifiche di resistenza per i primi 10 elementi strutturali ricavate dall'analisi di alcune combinazioni di carico. Tutti i risultati sono contenuti nella relazione tecnica completa.

Elem. 1		$\lambda_2=2.865$	$\lambda_3=5.129$	
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	1.000	1.000	2.63	OK
SLV SIS 1	1.000	1.000	8.69	OK

Elem. 2		$\lambda_2=2.387$	$\lambda_3=4.274$	
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	1.000	1.000	3.72	OK
SLV SIS 1	1.000	1.000	26.74	OK

Elem. 3		$\lambda_2=13.847$	$\lambda_3=24.790$	
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	1.000	0.873	1.68	OK
SLV SIS 1	1.000	0.973	2.85	OK

Elem. 4		$\lambda_2=7.162$	$\lambda_3=12.823$	
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	1.000	0.980	1.81	OK
SLV SIS 1	1.000	0.971	16.41	OK

Elem. 5		$\lambda_2=22.681$	$\lambda_3=40.605$	
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	0.827	0.842	1.99	OK
SLV SIS 1	0.827	0.862	8.15	OK

Elem. 6		$\lambda_2=6.995$	$\lambda_3=12.523$	
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	1.000	0.947	2.53	OK
SLV SIS 1	1.000	0.951	15.93	OK

Elem. 7		$\lambda_2=22.848$	$\lambda_3=40.904$	
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	0.825	0.895	1.31	OK
SLV SIS 1	0.825	0.881	6.14	OK

Elem. 8		$\lambda_2=4.059$		$\lambda_3=7.266$
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	1.000	0.988	2.76	OK
SLV SIS 1	1.000	0.986	15.82	OK

Elem. 9		$\lambda_2=25.784$		$\lambda_3=46.161$
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	0.785	0.866	1.51	OK
SLV SIS 1	0.785	0.878	3.59	OK

Elem. 10		$\lambda_2=7.162$		$\lambda_3=12.823$
	χ_{\min}	χ_{LT}	η_s [%]	≤ 100
SLU ECC 1	1.000	0.984	9.30	OK
SLV SIS 1	1.000	0.970	19.22	OK

6.8 Verifiche SLE - Spostamenti verticali

In questa sezione sono riportate le verifiche sugli spostamenti verticali (per una combinazione di carico SLE) dei primi nodi significativi per ogni lato (Nord, Sud, Est, Ovest). Tutti i risultati sono contenuti nella relazione tecnica completa.

Lato Nord - Nodo 3						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.543	6.288e-04	OK	0.001	8.639e-07	OK

Lato Nord - Nodo 73						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.549	6.354e-04	OK	0.002	1.981e-06	OK

Lato Nord - Nodo 74						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.557	6.449e-04	OK	0.007	8.129e-06	OK

Lato Nord - Nodo 75						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.551	6.382e-04	OK	0.012	1.412e-05	OK

Lato Nord - Nodo 4						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.551	6.379e-04	OK	0.001	8.212e-07	OK

Lato Nord - Nodo 76						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.553	6.396e-04	OK	0.002	1.880e-06	OK

Lato Nord - Nodo 77						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.556	6.434e-04	OK	0.007	8.120e-06	OK

Lato Nord - Nodo 78						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.555	6.425e-04	OK	0.012	1.435e-05	OK
Lato Nord - Nodo 6						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.563	6.517e-04	OK	0.000	1.644e-07	OK
Lato Nord - Nodo 79						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.563	6.513e-04	OK	0.002	1.824e-06	OK
Lato Sud - Nodo 38						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.435	5.030e-04	OK	0.041	4.695e-05	OK
Lato Sud - Nodo 43						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.478	5.534e-04	OK	0.048	5.533e-05	OK
Lato Sud - Nodo 45						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.496	5.736e-04	OK	0.050	5.802e-05	OK
Lato Sud - Nodo 48						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.521	6.031e-04	OK	0.053	6.116e-05	OK
Lato Sud - Nodo 50						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.529	6.127e-04	OK	0.053	6.161e-05	OK
Lato Sud - Nodo 53						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.537	6.216e-04	OK	0.051	5.917e-05	OK
Lato Sud - Nodo 56						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.407	4.716e-04	OK	0.054	6.292e-05	OK
Lato Sud - Nodo 61						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.448	5.180e-04	OK	0.063	7.319e-05	OK
Lato Sud - Nodo 63						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.464	5.366e-04	OK	0.066	7.677e-05	OK
Lato Sud - Nodo 66						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.487	5.637e-04	OK	0.072	8.323e-05	OK

Lato Est - Nodo 21						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.546	3.424e-04	OK	0.013	8.197e-06	OK

Lato Est - Nodo 22						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.554	3.474e-04	OK	0.013	8.374e-06	OK

Lato Est - Nodo 24						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.566	3.549e-04	OK	0.014	8.869e-06	OK

Lato Est - Nodo 26						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.576	3.609e-04	OK	0.015	9.315e-06	OK

Lato Est - Nodo 28						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.583	3.656e-04	OK	0.015	9.315e-06	OK

Lato Est - Nodo 31						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.589	3.692e-04	OK	0.016	9.859e-06	OK

Lato Est - Nodo 33						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.593	3.716e-04	OK	0.019	1.165e-05	OK

Lato Est - Nodo 34						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.595	3.730e-04	OK	0.024	1.477e-05	OK

Lato Est - Nodo 39						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.437	2.740e-04	OK	0.041	2.563e-05	OK

Lato Est - Nodo 40						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.449	2.817e-04	OK	0.043	2.675e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 57						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.410	2.568e-04	OK	0.055	3.433e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 58						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.421	2.640e-04	OK	0.057	3.576e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 60						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	< 1/250	δ_2 [mm]	δ_2/L	< 1/350
SLE RARE 1	0.443	2.778e-04	OK	0.062	3.890e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 62						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.461	2.893e-04	OK	0.066	4.127e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 64						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.476	2.986e-04	OK	0.069	4.322e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 67						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.488	3.059e-04	OK	0.072	4.519e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 69						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.496	3.109e-04	OK	0.074	4.638e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 70						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.500	3.138e-04	OK	0.076	4.752e-05	OK

Lato Ovest - Nodo 3						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.543	3.406e-04	OK	0.001	4.680e-07	OK

Lato Ovest - Nodo 4						
	δ_{\max} [mm]	δ_{\max}/L	$< 1/250$	δ_2 [mm]	δ_2/L	$< 1/350$
SLE RARE 1	0.551	3.455e-04	OK	0.001	4.448e-07	OK

6.9 Verifiche SLE - Spostamenti laterali

6.9.1 Spostamenti laterali massimi

Nodo 18						
	Δ_x [mm]	Δ_x/H	$< 1/500$	Δ_y [mm]	Δ_y/H	$< 1/500$
SLE RARE 1	0.001	6.905e-08	OK	0.001	7.995e-08	OK

Nodo 36						
	Δ_x [mm]	Δ_x/H	$< 1/500$	Δ_y [mm]	Δ_y/H	$< 1/500$
SLE RARE 1	0.000	5.079e-08	OK	0.001	7.666e-08	OK

Nodo 54						
	Δ_x [mm]	Δ_x/H	$< 1/500$	Δ_y [mm]	Δ_y/H	$< 1/500$
SLE RARE 1	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK

Nodo 72						
	Δ_x [mm]	Δ_x/H	$< 1/500$	Δ_y [mm]	Δ_y/H	$< 1/500$
SLE RARE 1	0.000	0.000e+00	OK	0.000	0.000e+00	OK

6.9.2 Spostamenti laterali interpiani

In questa sezione sono riportati i risultati delle verifiche sugli spostamenti laterali relativi ai primi 10 elementi strutturali significativi. Tutti i risultati sono contenuti nella relazione tecnica completa

Elem. 1						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	0.000e+00	0.000e+00	OK	0.000e+00	0.000e+00	OK

Elem. 2						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	9.147e-04	9.147e-06	OK	7.525e-04	7.525e-06	OK

Elem. 3						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	2.716e-03	4.682e-06	OK	8.268e-04	1.426e-06	OK

Elem. 4						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	3.630e-03	1.210e-05	OK	7.433e-05	2.478e-07	OK

Elem. 5						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	6.165e-03	6.489e-06	OK	2.066e-03	2.175e-06	OK

Elem. 6						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	5.131e-03	1.751e-05	OK	1.015e-03	3.464e-06	OK

Elem. 7						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	2.170e-03	2.268e-06	OK	1.577e-03	1.648e-06	OK

Elem. 8						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	3.816e-03	2.245e-05	OK	1.134e-03	6.671e-06	OK

Elem. 9						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	4.076e-03	3.774e-06	OK	2.722e-03	2.521e-06	OK

Elem. 10						
	δ_x [mm]	δ_x/h	$< 1/300$	δ_y [mm]	δ_y/h	$< 1/300$
SLE RARE 1	3.464e-03	1.155e-05	OK	8.453e-05	2.818e-07	OK

6.10 Verifiche SLD

6.10.1 Spostamenti laterali interpiani

Elem. 1						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	1.181e-01	9.841e-04	OK	3.543e-02	2.952e-04	OK

Elem. 2						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	9.426e-02	9.426e-04	OK	2.424e-02	2.424e-04	OK

Elem. 3						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	5.687e-01	9.806e-04	OK	1.739e-01	2.998e-04	OK

Elem. 4						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	3.014e-01	1.005e-03	OK	9.118e-02	3.039e-04	OK

Elem. 5						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	9.788e-01	1.030e-03	OK	2.980e-01	3.137e-04	OK

Elem. 6						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	2.695e-01	9.198e-04	OK	6.434e-02	2.196e-04	OK

Elem. 7						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	9.257e-01	9.673e-04	OK	2.933e-01	3.065e-04	OK

Elem. 8						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	1.518e-01	8.932e-04	OK	3.217e-02	1.892e-04	OK

Elem. 9						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	1.078e+00	9.982e-04	OK	3.314e-01	3.069e-04	OK

Elem. 10						
	d_{rx} [mm]	d_{rx}/h	< 0.005	d_{ry} [mm]	d_{ry}/h	< 0.005
SLD SIS 1	2.864e-01	9.546e-04	OK	8.787e-02	2.929e-04	OK

6.11 Unioni

In questa sezione sono riportati i risultati delle verifiche delle prime 10 unioni presenti nella struttura per una combinazione di carico. Tutti i risultati delle verifiche sono contenuti nella relazione tecnica completa

CARATTERISTICHE BULLONI			
Tipo Unione	d [mm]	Classe	Numero
MNT-TRV	12	8.8	2
MNT-MNT	12	8.8	8
Anc. di base	16	8.8	2
Anc. edificio (se presenti)	16	8.8	2
Controventi	12	8.8	1

Nodo 1

1. Ancoraggio base MNT1

	μ_u %
	1
SLU ECC 1	2.926
SLV SIS 1	7.437
SLE RARE 1	2.883
SLD SIS 1	4.009
SLV SIS REL 1	2.897

Nodo 3

- MNT1 inf.-piastra lato y
- MNT1 inf.-piastra lato x
- MNT1 sup.-piastra lato y
- MNT1 sup.-piastra lato x
- MNT1-TRV1 attacco frontale
- MNT1-TRV4 attacco frontale

	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	3.202	3.017	1.980	1.978	8.711	1.185
SLV SIS 1	10.376	7.864	4.512	3.951	42.132	7.065
SLE RARE 1	3.108	2.920	1.912	1.906	8.475	1.247
SLD SIS 1	5.769	4.670	2.852	2.577	20.869	3.389
SLV SIS REL 1	3.124	2.956	1.928	1.916	8.532	1.138

Nodo 4

1. MNT1 inf.-piastra lato y
2. MNT1 inf.-piastra lato x
3. MNT1 sup.-piastra lato y
4. MNT1 sup.-piastra lato x
5. MNT1-TRV1 attacco frontale
6. MNT1-TRV4 attacco frontale

	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	1.951	1.949	1.457	1.501	3.049	1.704
SLV SIS 1	4.483	3.922	3.454	3.117	4.077	5.319
SLE RARE 1	1.883	1.877	1.379	1.419	2.985	1.511
SLD SIS 1	2.822	2.548	2.115	1.915	3.381	2.494
SLV SIS REL 1	1.899	1.887	1.477	1.559	3.956	2.535

Nodo 6

1. MNT1 inf.-piastra lato y
2. MNT1 inf.-piastra lato x
3. MNT1 sup.-piastra lato y
4. MNT1 sup.-piastra lato x
5. MNT1-TRV1 attacco frontale
6. MNT1-TRV4 attacco frontale

	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	1.291	1.292	1.118	1.140	0.291	1.351
SLV SIS 1	2.661	2.725	2.777	2.647	5.282	5.079
SLE RARE 1	1.260	1.272	1.058	1.078	0.479	1.292
SLD SIS 1	1.768	1.776	1.681	1.612	1.656	2.612
SLV SIS REL 1	1.256	1.273	1.058	1.089	1.422	1.287

Nodo 8

1. MNT1 inf.-piastra lato y
2. MNT1 inf.-piastra lato x
3. MNT1 sup.-piastra lato y
4. MNT1 sup.-piastra lato x
5. MNT1-TRV1 attacco frontale
6. MNT1-TRV4 attacco frontale

	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	1.055	1.077	0.906	0.928	1.058	1.838
SLV SIS 1	2.713	2.571	2.479	2.461	3.292	5.457
SLE RARE 1	0.995	1.015	0.844	0.864	0.044	1.246
SLD SIS 1	1.618	1.544	1.436	1.409	1.188	2.805
SLV SIS REL 1	0.999	1.041	0.700	0.700	1.423	2.388

Nodo 10

1. MNT1 inf.-piastra lato y
2. MNT1 inf.-piastra lato x
3. MNT1 sup.-piastra lato y
4. MNT1 sup.-piastra lato x
5. MNT1-TRV1 attacco frontale
6. MNT1-TRV4 attacco frontale

	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	0.844	0.865	1.105	1.548	2.480	6.388
SLV SIS 1	2.419	2.398	2.175	2.159	4.156	6.680
SLE RARE 1	0.781	0.801	0.661	0.684	0.330	1.277
SLD SIS 1	1.374	1.346	1.195	1.181	1.252	3.247
SLV SIS REL 1	0.640	0.639	1.657	1.342	8.982	3.243

Nodo 13						
	1. MNT1 inf.-piastra lato y					
	2. MNT1 inf.-piastra lato x					
	3. MNT1 sup.-piastra lato y					
	4. MNT1 sup.-piastra lato x					
	5. MNT1-TRV1 attacco frontale					
	6. MNT1-TRV4 attacco frontale					
	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	1.023	1.294	0.711	0.882	5.248	6.781
SLV SIS 1	1.835	1.561	1.489	1.633	5.292	6.069
SLE RARE 1	0.599	0.615	0.457	0.476	0.095	1.266
SLD SIS 1	1.060	0.968	0.826	0.861	2.006	3.049
SLV SIS REL 1	1.292	1.181	0.256	0.334	7.822	3.378

Nodo 15						
	1. MNT1 inf.-piastra lato y					
	2. MNT1 inf.-piastra lato x					
	3. MNT1 sup.-piastra lato y					
	4. MNT1 sup.-piastra lato x					
	5. MNT1-TRV1 attacco frontale					
	6. MNT1-TRV4 attacco frontale					
	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	0.648	0.819	0.575	0.755	0.912	0.685
SLV SIS 1	1.420	1.572	1.561	1.356	5.884	7.870
SLE RARE 1	0.394	0.413	0.273	0.293	0.239	1.270
SLD SIS 1	0.761	0.799	0.746	0.684	2.308	3.734
SLV SIS REL 1	0.202	0.277	0.392	0.495	3.892	5.467

Nodo 16						
	1. MNT1 inf.-piastra lato y					
	2. MNT1 inf.-piastra lato x					
	3. MNT1 sup.-piastra lato y					
	4. MNT1 sup.-piastra lato x					
	5. MNT1-TRV1 attacco frontale					
	6. MNT1-TRV4 attacco frontale					
	μ_u %					
	1	2	3	4	5	6
SLU ECC 1	0.513	0.692	0.548	0.777	6.055	9.029
SLV SIS 1	1.498	1.293	1.065	1.385	2.798	7.409
SLE RARE 1	0.210	0.230	0.104	0.124	0.353	1.275
SLD SIS 1	0.684	0.622	0.447	0.551	1.312	3.544
SLV SIS REL 1	0.455	0.557	0.377	0.367	7.688	4.013

Nodo 18			
	1. MNT1-TRV_CH1 attacco frontale		
	2. MNT1-TRV_CH4 attacco frontale		
	3. CTV Copert. elem.127		
	μ_u %		
	1	2	3
SLU ECC 1	1.605	5.397	0.000
SLV SIS 1	3.929	8.081	0.000
SLE RARE 1	0.271	0.314	0.012
SLD SIS 1	1.583	2.879	0.000
SLV SIS REL 1	1.769	9.347	5.022

6.12 Verifica EN 81-2:2010

Per completezza sono riportati gli spostamenti sulle guide per le combinazioni di carico diverse da quella eccezionale. La condizione di carico è quella di massimo sfruttamento.

Combinazione Eccezionale

nodo	u_x [mm]	u_y [mm]	$\leq 5\text{mm}$
88	-0.2	-0.0	OK
90	-0.2	-0.0	OK
94	0.2	0.0	OK
96	0.2	0.0	OK

Nodo 88

	u_x [mm]	u_y [mm]
SLU STR 1	0.001	0.001
SLE PERM 1	0.001	0.001
SLE FREQ. 1	0.001	0.001
SLE RARE 1	0.001	0.001
SLD SIS 1	-5.623	-1.767
SLD SIS 2	-5.613	1.764
SLD SIS 3	-1.703	-5.889
SLD SIS 4	-1.668	5.889
SLD SIS 5	1.668	-5.888
SLD SIS 6	1.704	5.891
SLD SIS 7	5.614	-1.765
SLD SIS 8	5.625	1.771
SLV SIS REL 1	0.197	-0.276
SLV SIS REL 2	0.230	0.280
SLV SIS REL 3	0.010	-0.921
SLV SIS REL 4	0.118	0.923
SLV SIS REL 5	-0.118	-0.921
SLV SIS REL 6	-0.010	0.922
SLV SIS REL 7	-0.229	-0.275
SLV SIS REL 8	-0.197	0.275

Nodo 90

	u_x [mm]	u_y [mm]
SLU STR 1	-0.001	0.001
SLE PERM 1	-0.001	0.001
SLE FREQ. 1	-0.001	0.001
SLE RARE 1	-0.001	0.001
SLD SIS 1	-5.563	-1.768
SLD SIS 2	-5.568	1.764
SLD SIS 3	-1.663	-5.889
SLD SIS 4	-1.678	5.889
SLD SIS 5	1.675	-5.888
SLD SIS 6	1.660	5.891
SLD SIS 7	5.565	-1.765
SLD SIS 8	5.561	1.772
SLV SIS REL 1	0.337	-0.277
SLV SIS REL 2	0.338	0.279
SLV SIS REL 3	0.099	-0.923
SLV SIS REL 4	0.101	0.924
SLV SIS REL 5	-0.104	-0.922
SLV SIS REL 6	-0.102	0.923
SLV SIS REL 7	-0.341	-0.275
SLV SIS REL 8	-0.340	0.276

Nodo 94

	u_x [mm]	u_y [mm]
SLU STR 1	-0.011	-0.001
SLE PERM 1	-0.007	-0.001
SLE FREQ. 1	-0.007	-0.001
SLE RARE 1	-0.007	-0.001
SLD SIS 1	-8.035	-2.400
SLD SIS 2	-8.043	2.404
SLD SIS 3	-2.400	-8.021
SLD SIS 4	-2.426	8.021
SLD SIS 5	2.420	-8.025
SLD SIS 6	2.394	8.023
SLD SIS 7	8.032	-2.415

Nodo 94		
	u_x [mm]	u_y [mm]
SLD SIS 8	8.024	2.410
SLV SIS REL 1	0.514	-0.500
SLV SIS REL 2	0.526	0.516
SLV SIS REL 3	0.137	-1.673
SLV SIS REL 4	0.179	1.677
SLV SIS REL 5	-0.178	-1.674
SLV SIS REL 6	-0.136	1.668
SLV SIS REL 7	-0.536	-0.504
SLV SIS REL 8	-0.523	0.485

Nodo 96		
	u_x [mm]	u_y [mm]
SLU STR 1	-0.013	-0.001
SLE PERM 1	-0.008	-0.001
SLE FREQ. 1	-0.008	-0.001
SLE RARE 1	-0.008	-0.001
SLD SIS 1	-8.049	-2.401
SLD SIS 2	-8.043	2.404
SLD SIS 3	-2.427	-8.021
SLD SIS 4	-2.405	8.021
SLD SIS 5	2.397	-8.025
SLD SIS 6	2.419	8.023
SLD SIS 7	8.029	-2.415
SLD SIS 8	8.036	2.410
SLV SIS REL 1	0.516	-0.501
SLV SIS REL 2	0.497	0.515
SLV SIS REL 3	0.185	-1.673
SLV SIS REL 4	0.120	1.677
SLV SIS REL 5	-0.122	-1.674
SLV SIS REL 6	-0.187	1.668
SLV SIS REL 7	-0.508	-0.503
SLV SIS REL 8	-0.528	0.486

6.13 Azioni sui vincoli strutturali

6.13.1 Azioni alla base dei montanti

In questa sezione sono riportate le sollecitazioni massime di trazione (segno +), compressione (segno -) e taglio (in modulo) agenti alla base dei quattro montanti. In corrispondenza dei valori massimi che agiscono su uno dei montanti, sono indicate le azioni alla base degli altri 3 montanti e la combinazione in cui si verifica quella particolare configurazione.

Massima trazione [daN]				
Comb.	MNT1 Nodo 1	MNT2 Nodo 19	MNT3 Nodo 37	MNT4 Nodo 55
SLV SIS 2	-1142.06	-1225.45	156.09	296.63

Massima compressione [daN]				
Comb.	MNT1 Nodo 1	MNT2 Nodo 19	MNT3 Nodo 37	MNT4 Nodo 55
SLV SIS 2	-1142.06	-1225.45	156.09	296.63

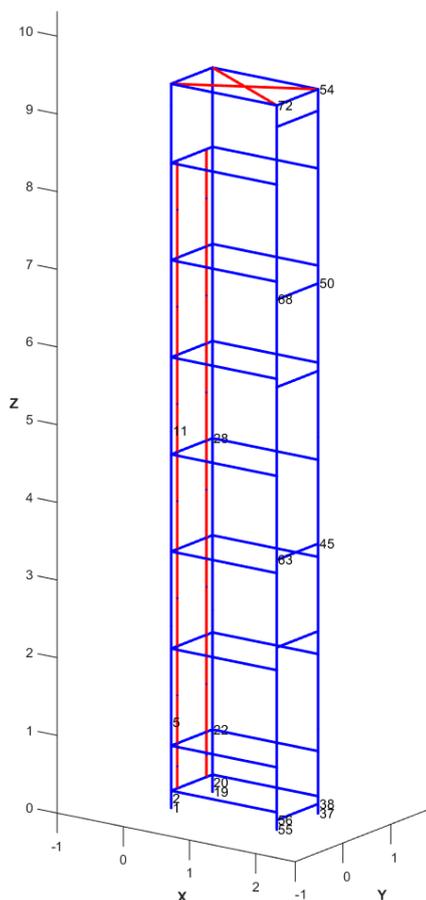


Fig. 6.1: Nodi in corrispondenza dei vincoli strutturali

Massimo taglio [daN]				
Comb.	MNT1 Nodo 1	MNT2 Nodo 19	MNT3 Nodo 37	MNT4 Nodo 55
SLV SIS 5	489.43	363.17	434.28	425.70

Considerando il numero di tasselli e le caratteristiche di resistenza degli stessi tasselli riportate nella sezione denominata “Disegni dei particolari costruttivi delle strutture portanti” è possibile effettuare la verifica lato cemento della giunzione:

$$\frac{N_{\max}}{n \cdot N_{Rd}} + \frac{V_{\max}}{n \cdot V_{Rd}} = \frac{296.6 \text{ daN}}{2 \cdot 920.0 \text{ daN}} + \frac{489.4 \text{ daN}}{2 \cdot 2860.0 \text{ daN}} = 0.2 < 1 \quad (6.1)$$

6.13.2 Azioni sugli ancoraggi all’edificio

Nodo 2 [X=0.000, Y=0.000, Z=0.120] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 5	290.73
RY max	SLV SIS 3	1319.46

Nodo 5 [X=0.000, Y=0.000, Z=1.100] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 8	63.18
RY max	SLV SIS 3	-394.42

Nodo 11 [X=0.000, Y=0.000, Z=4.850] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLU ECC 1	250.34
RY max	SLV SIS 4	204.96

Nodo 20 [X=0.000, Y=0.864, Z=0.120] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 6	218.03
RY max	SLV SIS 4	-1362.07

Nodo 22 [X=0.000, Y=0.864, Z=0.800] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 8	80.52
RY max	SLV SIS 4	2100.43

Nodo 28 [X=0.000, Y=0.864, Z=4.550] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLU ECC 1	246.29
RY max	SLV SIS 4	-365.79

Nodo 38 [X=1.595, Y=0.864, Z=0.120] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 5	168.35
RY max	SLV SIS 5	-401.25

Nodo 45 [X=1.595, Y=0.864, Z=3.470] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 2	128.59
RY max	SLV SIS 5	100.14

Nodo 50 [X=1.595, Y=0.864, Z=6.820] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 8	250.32
RY max	SLV SIS 6	-71.59

Nodo 54 [X=1.595, Y=0.864, Z=9.320] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 6	746.27
RY max	SLV SIS 4	349.87

Nodo 56 [X=1.595, Y=0.000, Z=0.120] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 8	208.36
RY max	SLV SIS 3	-390.36

Nodo 63 [X=1.595, Y=0.000, Z=3.470] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 8	-80.31
RY max	SLV SIS 6	-97.53

Nodo 68 [X=1.595, Y=0.000, Z=6.820] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 2	-187.52
RY max	SLV SIS 4	-71.16

Nodo 72 [X=1.595, Y=0.000, Z=9.320] m		
Tipo	Comb.	Valore [daN]
RX max	SLV SIS 5	748.35
RY max	SLV SIS 3	-350.66

Considerando il numero di tasselli e le caratteristiche di resistenza degli stessi tasselli riportate nella sezione denominata “*Disegni dei particolari costruttivi delle strutture portanti*” è possibile effettuare la verifica lato cemento della giunzione:

$$\frac{N_{\max}}{n \cdot N_{Rd}} + \frac{V_{\max}}{n \cdot V_{Rd}} = \frac{2100.4\text{daN}}{2 \cdot 1930.0\text{daN}} + \frac{2100.4\text{daN}}{2 \cdot 4080.0\text{daN}} = 0.8 < 1 \quad (6.2)$$

In via cautelativa il valore massimo di trazione N_{\max} e di taglio V_{\max} sono equivalenti e corrispondono al massimo valore preso tra le RX e le RY

www.feme.biz

6.13.3 Spostamenti imposti

Spostamenti NODO 2 Z = 0.120			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-3.2e-01	-9.6e-02	-1.2e+00
SLV SIS 2	-3.2e-01	9.6e-02	-1.1e+00
SLV SIS 3	-9.6e-02	-3.2e-01	-8.7e-01
SLV SIS 4	-9.6e-02	3.2e-01	-6.0e-01
SLV SIS 5	9.6e-02	-3.2e-01	-4.8e-01
SLV SIS 6	9.6e-02	3.2e-01	-2.1e-01
SLV SIS 7	3.2e-01	-9.6e-02	6.6e-02
SLV SIS 8	3.2e-01	9.6e-02	1.5e-01
SLD SIS 1	-1.2e-01	-3.5e-02	-7.9e-01
SLD SIS 2	-1.2e-01	3.5e-02	-7.6e-01
SLD SIS 3	-3.5e-02	-1.2e-01	-6.6e-01
SLD SIS 4	-3.5e-02	1.2e-01	-5.6e-01
SLD SIS 5	3.5e-02	-1.2e-01	-5.2e-01
SLD SIS 6	3.5e-02	1.2e-01	-4.2e-01
SLD SIS 7	1.2e-01	-3.5e-02	-3.2e-01
SLD SIS 8	1.2e-01	3.5e-02	-2.9e-01

Spostamenti NODO 5 Z = 1.100			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-2.9e+00	-8.8e-01	-1.3e+00
SLV SIS 2	-2.9e+00	8.8e-01	-1.2e+00
SLV SIS 3	-8.8e-01	-2.9e+00	-8.8e-01
SLV SIS 4	-8.8e-01	2.9e+00	-6.2e-01
SLV SIS 5	8.8e-01	-2.9e+00	-4.8e-01
SLV SIS 6	8.8e-01	2.9e+00	-2.3e-01
SLV SIS 7	2.9e+00	-8.8e-01	7.0e-02
SLV SIS 8	2.9e+00	8.8e-01	1.5e-01
SLD SIS 1	-1.1e+00	-3.2e-01	-8.1e-01
SLD SIS 2	-1.1e+00	3.2e-01	-7.8e-01
SLD SIS 3	-3.2e-01	-1.1e+00	-6.7e-01
SLD SIS 4	-3.2e-01	1.1e+00	-5.8e-01
SLD SIS 5	3.2e-01	-1.1e+00	-5.3e-01
SLD SIS 6	3.2e-01	1.1e+00	-4.3e-01
SLD SIS 7	1.1e+00	-3.2e-01	-3.2e-01
SLD SIS 8	1.1e+00	3.2e-01	-3.0e-01

Spostamenti NODO 11 Z = 4.850			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-1.3e+01	-3.9e+00	-1.3e+00
SLV SIS 2	-1.3e+01	3.9e+00	-1.2e+00
SLV SIS 3	-3.9e+00	-1.3e+01	-9.3e-01
SLV SIS 4	-3.9e+00	1.3e+01	-6.4e-01

Spostamenti NODO 11 Z = 4.850			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 5	3.9e+00	-1.3e+01	-5.2e-01
SLV SIS 6	3.9e+00	1.3e+01	-2.3e-01
SLV SIS 7	1.3e+01	-3.9e+00	6.9e-02
SLV SIS 8	1.3e+01	3.9e+00	1.6e-01
SLD SIS 1	-4.8e+00	-1.4e+00	-8.5e-01
SLD SIS 2	-4.8e+00	1.4e+00	-8.2e-01
SLD SIS 3	-1.4e+00	-4.8e+00	-7.1e-01
SLD SIS 4	-1.4e+00	4.8e+00	-6.0e-01
SLD SIS 5	1.4e+00	-4.8e+00	-5.6e-01
SLD SIS 6	1.4e+00	4.8e+00	-4.5e-01
SLD SIS 7	4.8e+00	-1.4e+00	-3.4e-01
SLD SIS 8	4.8e+00	1.4e+00	-3.1e-01

Spostamenti NODO 20 Z = 0.120			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-3.2e-01	-9.6e-02	-1.2e+00
SLV SIS 2	-3.2e-01	9.6e-02	-1.2e+00
SLV SIS 3	-9.6e-02	-3.2e-01	-6.0e-01
SLV SIS 4	-9.6e-02	3.2e-01	-8.7e-01
SLV SIS 5	9.6e-02	-3.2e-01	-2.2e-01
SLV SIS 6	9.6e-02	3.2e-01	-4.8e-01
SLV SIS 7	3.2e-01	-9.6e-02	1.4e-01
SLV SIS 8	3.2e-01	9.6e-02	6.3e-02
SLD SIS 1	-1.2e-01	-3.5e-02	-7.7e-01
SLD SIS 2	-1.2e-01	3.5e-02	-8.0e-01
SLD SIS 3	-3.5e-02	-1.2e-01	-5.7e-01
SLD SIS 4	-3.5e-02	1.2e-01	-6.6e-01
SLD SIS 5	3.5e-02	-1.2e-01	-4.2e-01
SLD SIS 6	3.5e-02	1.2e-01	-5.2e-01
SLD SIS 7	1.2e-01	-3.5e-02	-2.9e-01
SLD SIS 8	1.2e-01	3.5e-02	-3.2e-01

Spostamenti NODO 22 Z = 0.800			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-2.1e+00	-6.4e-01	-1.2e+00
SLV SIS 2	-2.1e+00	6.4e-01	-1.2e+00
SLV SIS 3	-6.4e-01	-2.1e+00	-6.3e-01
SLV SIS 4	-6.4e-01	2.1e+00	-8.8e-01
SLV SIS 5	6.4e-01	-2.1e+00	-2.3e-01
SLV SIS 6	6.4e-01	2.1e+00	-4.8e-01
SLV SIS 7	2.1e+00	-6.4e-01	1.4e-01
SLV SIS 8	2.1e+00	6.4e-01	6.7e-02
SLD SIS 1	-7.9e-01	-2.4e-01	-7.8e-01
SLD SIS 2	-7.9e-01	2.4e-01	-8.1e-01
SLD SIS 3	-2.4e-01	-7.9e-01	-5.8e-01

Spostamenti NODO 22 Z = 0.800			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLD SIS 4	-2.4e-01	7.9e-01	-6.7e-01
SLD SIS 5	2.4e-01	-7.9e-01	-4.4e-01
SLD SIS 6	2.4e-01	7.9e-01	-5.3e-01
SLD SIS 7	7.9e-01	-2.4e-01	-3.0e-01
SLD SIS 8	7.9e-01	2.4e-01	-3.3e-01

Spostamenti NODO 28 Z = 4.550			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-1.2e+01	-3.6e+00	-1.2e+00
SLV SIS 2	-1.2e+01	3.6e+00	-1.3e+00
SLV SIS 3	-3.6e+00	-1.2e+01	-6.5e-01
SLV SIS 4	-3.6e+00	1.2e+01	-9.3e-01
SLV SIS 5	3.6e+00	-1.2e+01	-2.4e-01
SLV SIS 6	3.6e+00	1.2e+01	-5.1e-01
SLV SIS 7	1.2e+01	-3.6e+00	1.5e-01
SLV SIS 8	1.2e+01	3.6e+00	6.6e-02
SLD SIS 1	-4.5e+00	-1.3e+00	-8.2e-01
SLD SIS 2	-4.5e+00	1.3e+00	-8.5e-01
SLD SIS 3	-1.3e+00	-4.5e+00	-6.1e-01
SLD SIS 4	-1.3e+00	4.5e+00	-7.1e-01
SLD SIS 5	1.3e+00	-4.5e+00	-4.6e-01
SLD SIS 6	1.3e+00	4.5e+00	-5.6e-01
SLD SIS 7	4.5e+00	-1.3e+00	-3.1e-01
SLD SIS 8	4.5e+00	1.3e+00	-3.4e-01

Spostamenti NODO 38 Z = 0.120			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-3.2e-01	-9.6e-02	2.7e-01
SLV SIS 2	-3.2e-01	9.6e-02	1.6e-01
SLV SIS 3	-9.6e-02	-3.2e-01	-4.9e-02
SLV SIS 4	-9.6e-02	3.2e-01	-4.3e-01
SLV SIS 5	9.6e-02	-3.2e-01	-4.4e-01
SLV SIS 6	9.6e-02	3.2e-01	-8.2e-01
SLV SIS 7	3.2e-01	-9.6e-02	-1.0e+00
SLV SIS 8	3.2e-01	9.6e-02	-1.1e+00
SLD SIS 1	-1.2e-01	-3.5e-02	-1.8e-01
SLD SIS 2	-1.2e-01	3.5e-02	-2.2e-01
SLD SIS 3	-3.5e-02	-1.2e-01	-2.9e-01
SLD SIS 4	-3.5e-02	1.2e-01	-4.3e-01
SLD SIS 5	3.5e-02	-1.2e-01	-4.4e-01
SLD SIS 6	3.5e-02	1.2e-01	-5.8e-01
SLD SIS 7	1.2e-01	-3.5e-02	-6.5e-01
SLD SIS 8	1.2e-01	3.5e-02	-6.9e-01

Spostamenti NODO 45 Z = 3.470			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-9.3e+00	-2.8e+00	3.0e-01
SLV SIS 2	-9.3e+00	2.8e+00	1.8e-01
SLV SIS 3	-2.8e+00	-9.3e+00	-8.3e-02
SLV SIS 4	-2.8e+00	9.3e+00	-4.7e-01
SLV SIS 5	2.8e+00	-9.3e+00	-5.2e-01
SLV SIS 6	2.8e+00	9.3e+00	-9.1e-01
SLV SIS 7	9.3e+00	-2.8e+00	-1.2e+00
SLV SIS 8	9.3e+00	2.8e+00	-1.3e+00
SLD SIS 1	-3.4e+00	-1.0e+00	-2.0e-01
SLD SIS 2	-3.4e+00	1.0e+00	-2.5e-01
SLD SIS 3	-1.0e+00	-3.4e+00	-3.5e-01
SLD SIS 4	-1.0e+00	3.4e+00	-4.8e-01
SLD SIS 5	1.0e+00	-3.4e+00	-5.1e-01
SLD SIS 6	1.0e+00	3.4e+00	-6.5e-01
SLD SIS 7	3.4e+00	-1.0e+00	-7.5e-01
SLD SIS 8	3.4e+00	1.0e+00	-7.9e-01

Spostamenti NODO 50 Z = 6.820			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-1.8e+01	-5.5e+00	3.2e-01
SLV SIS 2	-1.8e+01	5.5e+00	2.0e-01
SLV SIS 3	-5.5e+00	-1.8e+01	-1.0e-01
SLV SIS 4	-5.5e+00	1.8e+01	-4.9e-01
SLV SIS 5	5.5e+00	-1.8e+01	-5.7e-01
SLV SIS 6	5.5e+00	1.8e+01	-9.6e-01
SLV SIS 7	1.8e+01	-5.5e+00	-1.3e+00
SLV SIS 8	1.8e+01	5.5e+00	-1.4e+00
SLD SIS 1	-6.7e+00	-2.0e+00	-2.2e-01
SLD SIS 2	-6.7e+00	2.0e+00	-2.6e-01
SLD SIS 3	-2.0e+00	-6.7e+00	-3.7e-01
SLD SIS 4	-2.0e+00	6.7e+00	-5.1e-01
SLD SIS 5	2.0e+00	-6.7e+00	-5.5e-01
SLD SIS 6	2.0e+00	6.7e+00	-6.9e-01
SLD SIS 7	6.7e+00	-2.0e+00	-8.0e-01
SLD SIS 8	6.7e+00	2.0e+00	-8.4e-01

Spostamenti NODO 54 Z = 9.320			
Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-2.5e+01	-7.5e+00	3.3e-01
SLV SIS 2	-2.5e+01	7.5e+00	2.1e-01
SLV SIS 3	-7.5e+00	-2.5e+01	-1.0e-01
SLV SIS 4	-7.5e+00	2.5e+01	-4.9e-01

Spostamenti NODO 54 Z = 9.320

Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 5	7.5e+00	-2.5e+01	-5.8e-01
SLV SIS 6	7.5e+00	2.5e+01	-9.8e-01
SLV SIS 7	2.5e+01	-7.5e+00	-1.3e+00
SLV SIS 8	2.5e+01	7.5e+00	-1.4e+00
SLD SIS 1	-9.2e+00	-2.8e+00	-2.2e-01
SLD SIS 2	-9.2e+00	2.8e+00	-2.6e-01
SLD SIS 3	-2.8e+00	-9.2e+00	-3.8e-01
SLD SIS 4	-2.8e+00	9.2e+00	-5.2e-01
SLD SIS 5	2.8e+00	-9.2e+00	-5.6e-01
SLD SIS 6	2.8e+00	9.2e+00	-7.0e-01
SLD SIS 7	9.2e+00	-2.8e+00	-8.1e-01
SLD SIS 8	9.2e+00	2.8e+00	-8.6e-01

Spostamenti NODO 56 Z = 0.120

Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-3.2e-01	-9.6e-02	1.8e-01
SLV SIS 2	-3.2e-01	9.6e-02	3.0e-01
SLV SIS 3	-9.6e-02	-3.2e-01	-4.0e-01
SLV SIS 4	-9.6e-02	3.2e-01	-2.3e-02
SLV SIS 5	9.6e-02	-3.2e-01	-7.9e-01
SLV SIS 6	9.6e-02	3.2e-01	-4.1e-01
SLV SIS 7	3.2e-01	-9.6e-02	-1.1e+00
SLV SIS 8	3.2e-01	9.6e-02	-1.0e+00
SLD SIS 1	-1.2e-01	-3.5e-02	-1.9e-01
SLD SIS 2	-1.2e-01	3.5e-02	-1.5e-01
SLD SIS 3	-3.5e-02	-1.2e-01	-4.0e-01
SLD SIS 4	-3.5e-02	1.2e-01	-2.7e-01
SLD SIS 5	3.5e-02	-1.2e-01	-5.5e-01
SLD SIS 6	3.5e-02	1.2e-01	-4.1e-01
SLD SIS 7	1.2e-01	-3.5e-02	-6.7e-01
SLD SIS 8	1.2e-01	3.5e-02	-6.3e-01

Spostamenti NODO 63 Z = 3.470

Comb.	u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]
SLV SIS 1	-9.3e+00	-2.8e+00	2.2e-01
SLV SIS 2	-9.3e+00	2.8e+00	3.3e-01
SLV SIS 3	-2.8e+00	-9.3e+00	-4.3e-01
SLV SIS 4	-2.8e+00	9.3e+00	-5.2e-02
SLV SIS 5	2.8e+00	-9.3e+00	-8.8e-01
SLV SIS 6	2.8e+00	9.3e+00	-4.9e-01
SLV SIS 7	9.3e+00	-2.8e+00	-1.3e+00
SLV SIS 8	9.3e+00	2.8e+00	-1.1e+00
SLD SIS 1	-3.4e+00	-1.0e+00	-2.1e-01
SLD SIS 2	-3.4e+00	1.0e+00	-1.7e-01
SLD SIS 3	-1.0e+00	-3.4e+00	-4.5e-01

Spostamenti NODO 63 Z = 3.470			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLD SIS 4	-1.0e+00	3.4e+00	-3.1e-01
SLD SIS 5	1.0e+00	-3.4e+00	-6.1e-01
SLD SIS 6	1.0e+00	3.4e+00	-4.8e-01
SLD SIS 7	3.4e+00	-1.0e+00	-7.6e-01
SLD SIS 8	3.4e+00	1.0e+00	-7.1e-01

Spostamenti NODO 68 Z = 6.820			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLV SIS 1	-1.8e+01	-5.5e+00	2.4e-01
SLV SIS 2	-1.8e+01	5.5e+00	3.5e-01
SLV SIS 3	-5.5e+00	-1.8e+01	-4.5e-01
SLV SIS 4	-5.5e+00	1.8e+01	-6.6e-02
SLV SIS 5	5.5e+00	-1.8e+01	-9.2e-01
SLV SIS 6	5.5e+00	1.8e+01	-5.4e-01
SLV SIS 7	1.8e+01	-5.5e+00	-1.3e+00
SLV SIS 8	1.8e+01	5.5e+00	-1.2e+00
SLD SIS 1	-6.7e+00	-2.0e+00	-2.2e-01
SLD SIS 2	-6.7e+00	2.0e+00	-1.8e-01
SLD SIS 3	-2.0e+00	-6.7e+00	-4.8e-01
SLD SIS 4	-2.0e+00	6.7e+00	-3.4e-01
SLD SIS 5	2.0e+00	-6.7e+00	-6.5e-01
SLD SIS 6	2.0e+00	6.7e+00	-5.1e-01
SLD SIS 7	6.7e+00	-2.0e+00	-8.1e-01
SLD SIS 8	6.7e+00	2.0e+00	-7.7e-01

Spostamenti NODO 72 Z = 9.320			
Comb.	u _x [mm]	u _y [mm]	u _z [mm]
SLV SIS 1	-2.5e+01	-7.5e+00	2.5e-01
SLV SIS 2	-2.5e+01	7.5e+00	3.6e-01
SLV SIS 3	-7.5e+00	-2.5e+01	-4.6e-01
SLV SIS 4	-7.5e+00	2.5e+01	-6.5e-02
SLV SIS 5	7.5e+00	-2.5e+01	-9.4e-01
SLV SIS 6	7.5e+00	2.5e+01	-5.5e-01
SLV SIS 7	2.5e+01	-7.5e+00	-1.4e+00
SLV SIS 8	2.5e+01	7.5e+00	-1.3e+00
SLD SIS 1	-9.2e+00	-2.8e+00	-2.3e-01
SLD SIS 2	-9.2e+00	2.8e+00	-1.8e-01
SLD SIS 3	-2.8e+00	-9.2e+00	-4.8e-01
SLD SIS 4	-2.8e+00	9.2e+00	-3.4e-01
SLD SIS 5	2.8e+00	-9.2e+00	-6.6e-01
SLD SIS 6	2.8e+00	9.2e+00	-5.2e-01
SLD SIS 7	9.2e+00	-2.8e+00	-8.2e-01
SLD SIS 8	9.2e+00	2.8e+00	-7.8e-01

www.feme.biz

www.feme.biz

7. Configurazioni deformate

Sono di seguito riportati i diagrammi degli spostamenti nodali e delle configurazioni deformate relativi ad alcune combinazioni di carico ritenute significative.

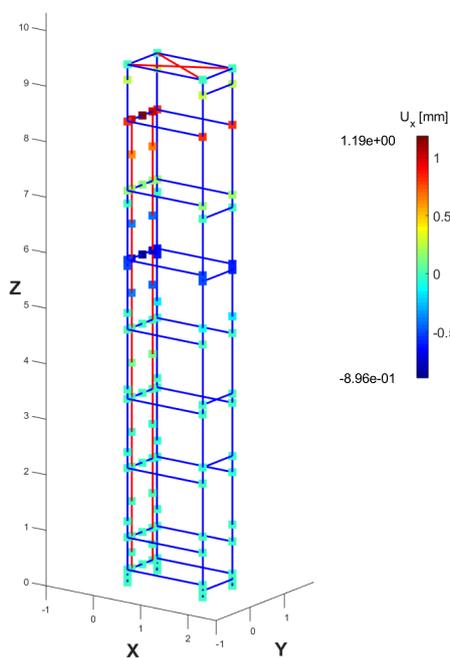


Fig. 7.1: SLU ECC 1 (Paracadute)- Spostamento Asse X

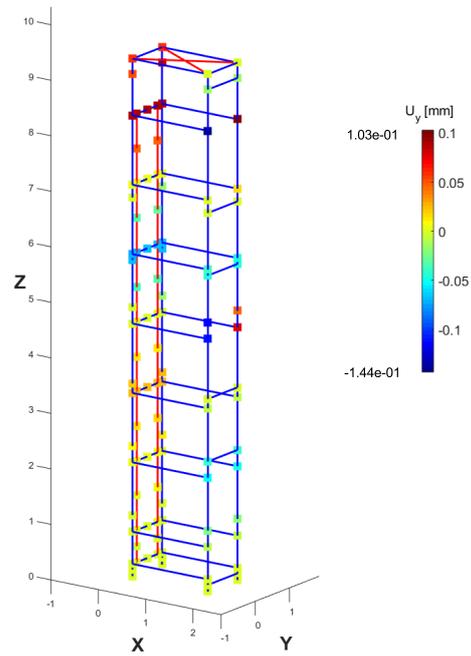


Fig. 7.2: SLU ECC 1 (Paracadute)- Spostamento Asse Y

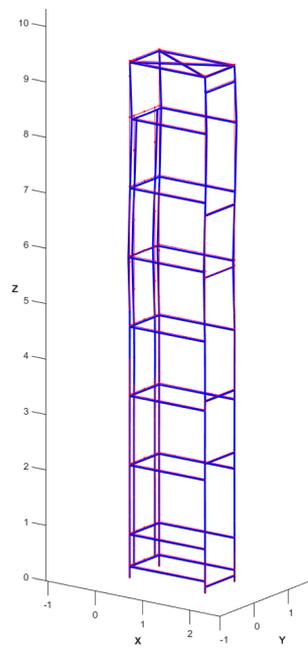


Fig. 7.3: SLU ECC 1 (Paracadute) - Deformata

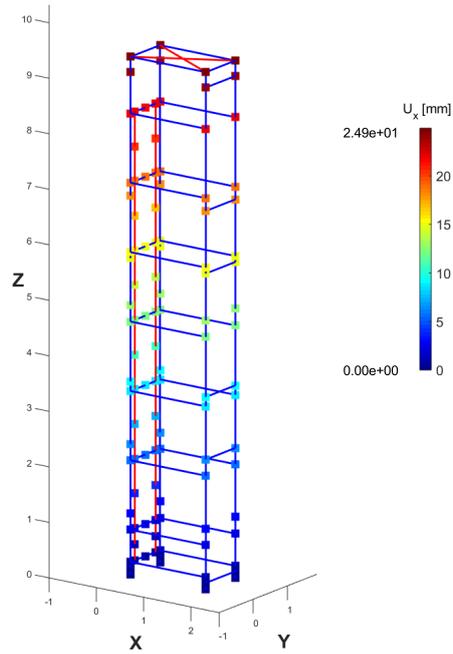


Fig. 7.4: SLV SIS 8 (Sisma in direzione X) - Spostamento Asse X

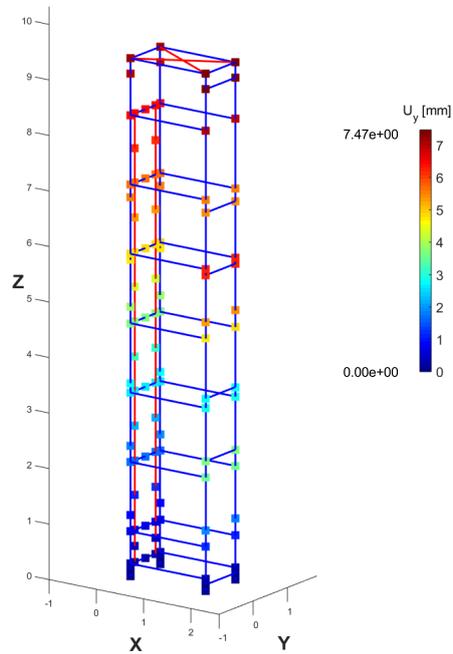


Fig. 7.5: SLV SIS 8 (Sisma in direzione X) - Spostamento Asse Y

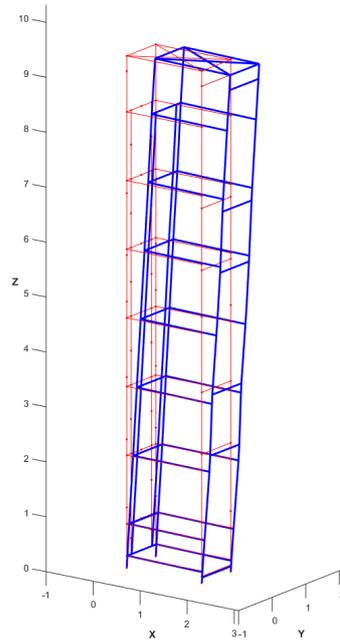


Fig. 7.6: SLV SIS 8 (Sisma in direzione X) - Deformata

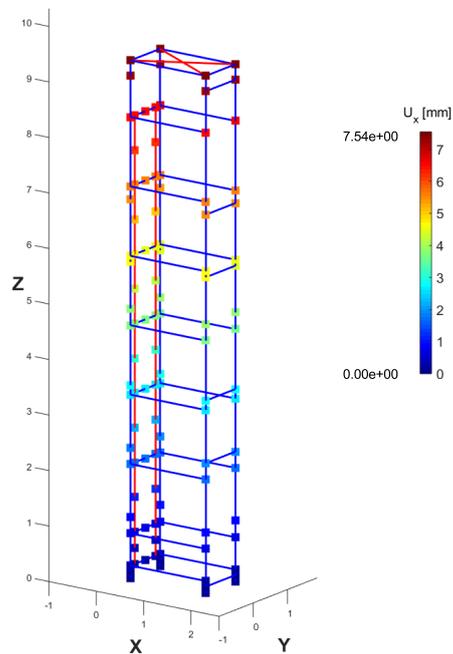


Fig. 7.7: SLV SIS 6 (Sisma in direzione Y) - Spostamento Asse X

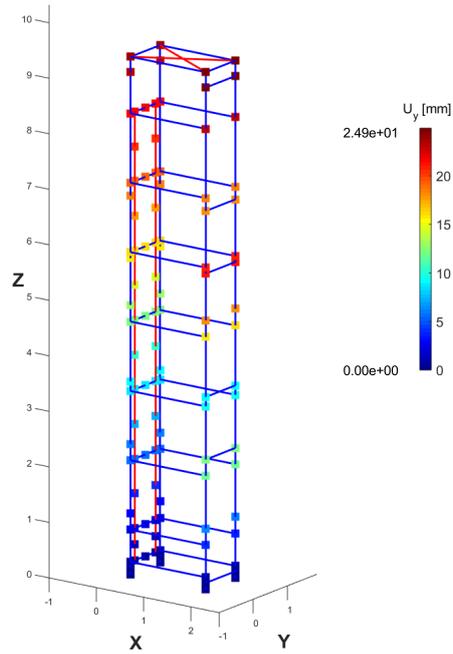


Fig. 7.8: SLV SIS 6 (Sisma in direzione Y) - Spostamento Asse Y

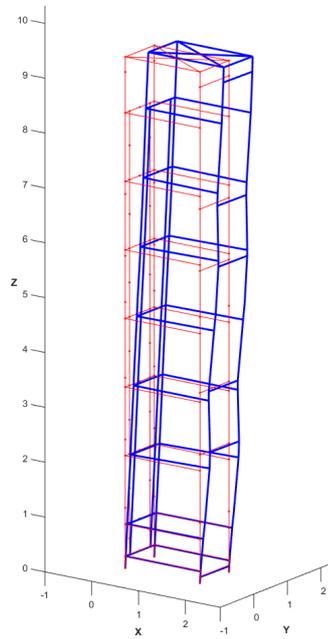


Fig. 7.9: SLV SIS 6 (Sisma in direzione Y) - Deformata

www.feme.biz

8. Rappresentazione grafica delle principali caratteristiche di sollecitazione (N, V, Mf)

Sono di seguito riportati i diagrammi degli involucri delle sollecitazioni strutturali e dello sfruttamento degli elementi dovuti alle combinazioni di carico considerate

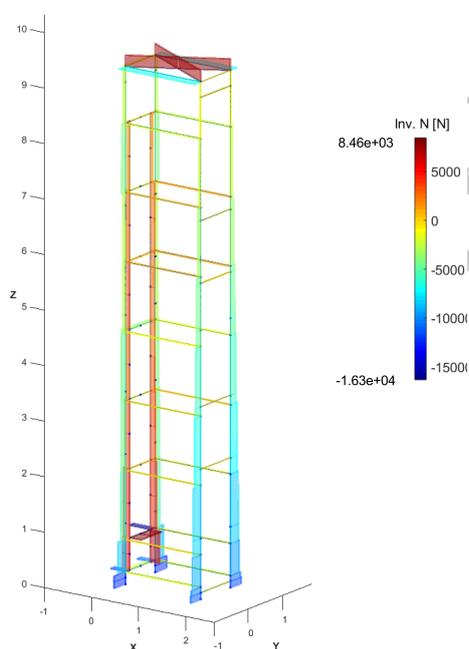


Fig. 8.1: Involuppo N

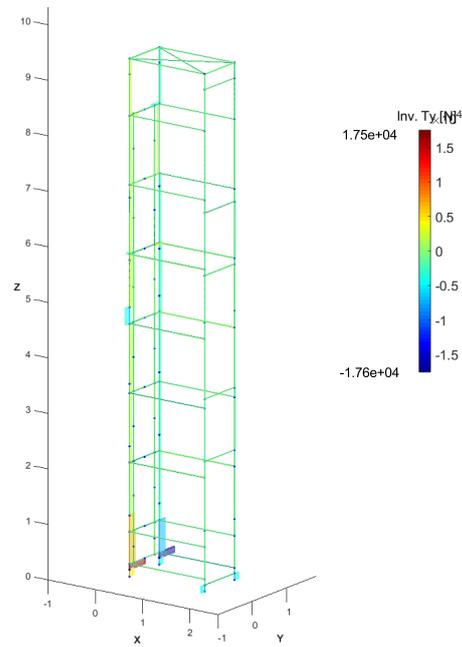


Fig. 8.2: Involuppo T_y

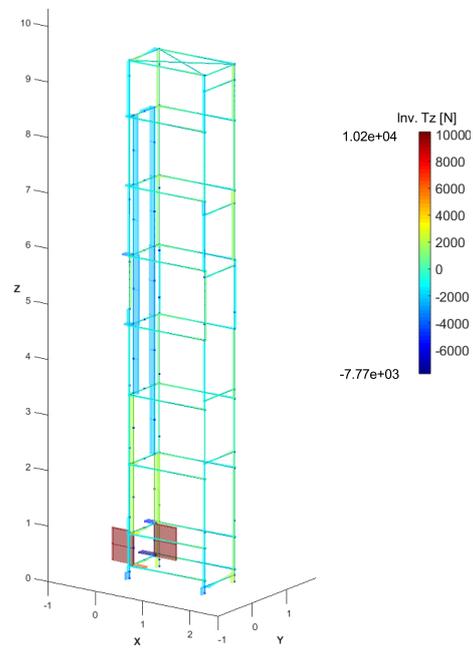
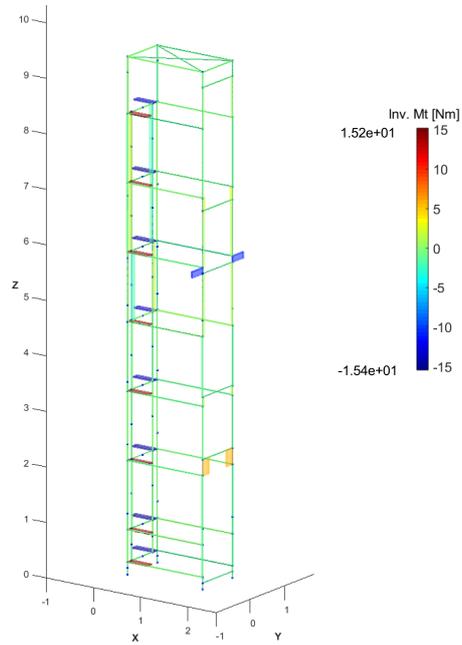
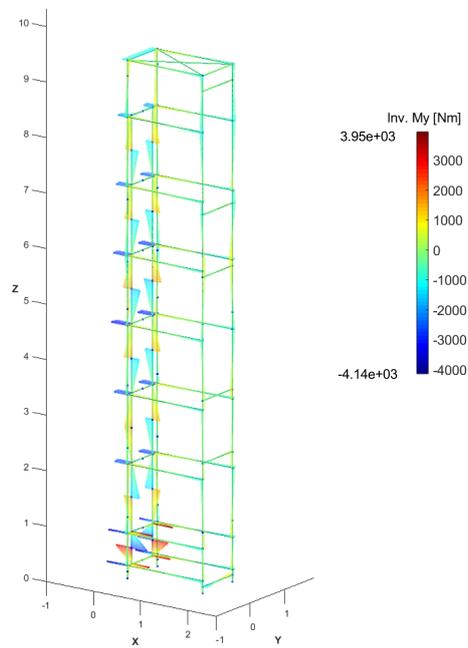


Fig. 8.3: Involuppo T_z

Fig. 8.4: Involuppo M_t Fig. 8.5: Involuppo M_y

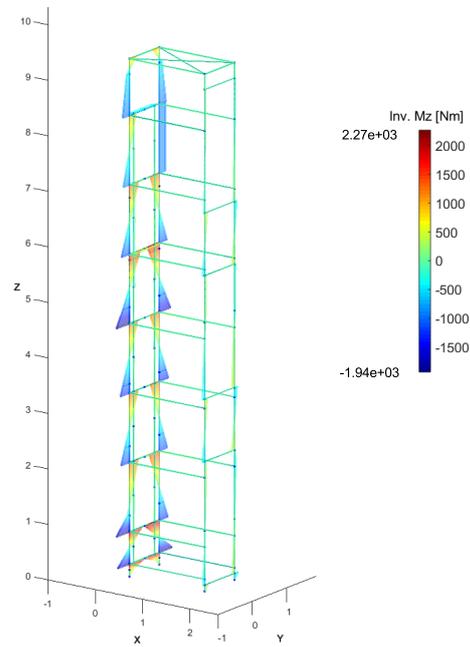


Fig. 8.6: Inviluppo M_z

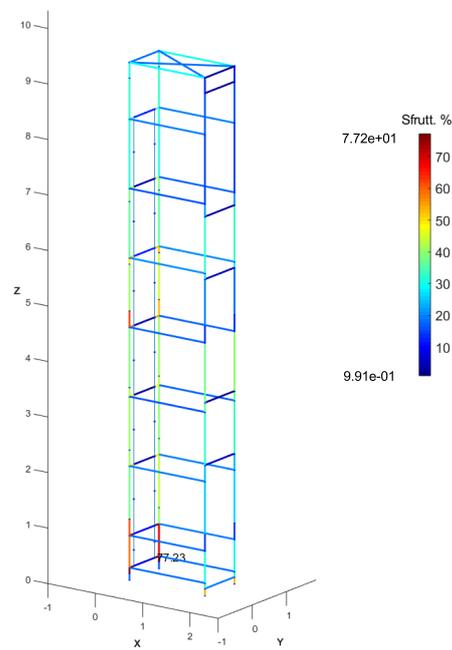


Fig. 8.7: Inviluppo Sfruttamento % resistenza

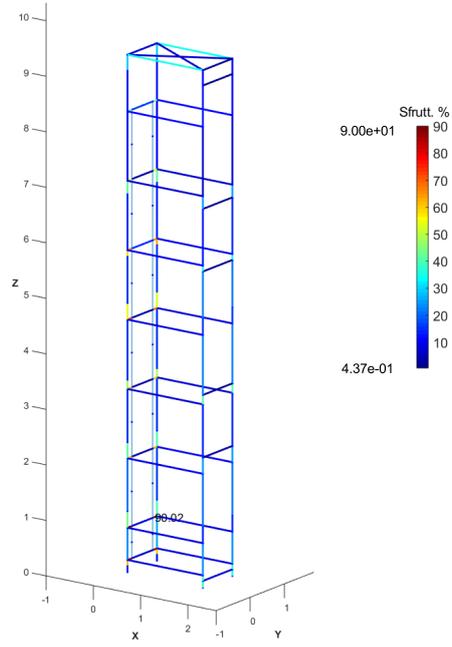


Fig. 8.8: Involuppo Sfruttamento % stabilità

www.feme.biz

9. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati e relazione specifica (D.M. 17.01.2018 §10.2)

9.1 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati ed assunzione di responsabilità

CARENSTUDIO ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Il sottoscritto, per la parte di propria competenza:

- ha eseguito le verifiche adottando un tipo di analisi dinamica modale, che rappresenta la modalità più accurata di calcolo;
- ha utilizzato come sw di calcolo il FEME (vers. 7.6) tenendo conto delle condizioni di calcolo più gravose. Il sw di calcolo è stato prodotto utilizzando un codice di programmazione eseguibile con MATLAB (vers. R2017a Lic. n. 40654185);
- ha provveduto ad esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico.
- ha dedicato particolare attenzione alle modalità di presentazione dei risultati, in modo che questi riassumano, in una sintesi completa ed efficace, il comportamento della struttura per ciascun tipo di analisi sviluppata.
- ha provveduto a verificare l'attendibilità dei dati sia con verifiche manuali sia confrontando i risultati ottenuti a quelli di varie altre casistiche similari, riscontrandone una adeguata corrispondenza;
- in relazione a quanto esposto, valutata sia la semplicità della struttura sia la grande quantità di strutture similari progettate, tutte con buon esito, e con sostanziale coincidenza di risultati ritiene senz'altro attendibili i risultati ottenuti.

Analisi sismica	dinamica lineare con spostamenti imposti
Progetto-verifica degli elementi	D.M. 17-01-2018
Norma applicata per l'azione sismica	D.M. 17-01-2018

COMBINAZIONI CASI DI CARICO

APPROCCIO PROGETTUALE	APPROCCIO 2
SLU	SI'
SLU (SLV sisma)	SI'
SLE	SI'
COMB. caratteristica (rara)	SI'
COMB. frequenti	SI'
COMB. quasi permanenti	SI'
COMB. accidentale	SI'

Tab. 9.1: Tipo di analisi strutturale svolta (quadro normativo generale di riferimento).

9.2 Relazione sul software per il calcolo automatico delle strutture (art. 10.2 del D.M. 17/01/2018)

Titolo:	FEME (Finite Element Models for Elevators)
Versione:	7.6
Produttore:	CAREN STUDIO
Linguaggio di programmazione:	MATLAB R2017b
Licenza:	40654185
Utente finale:	ing. GILBERTO CAVANNA

Tab. 9.2: Origine e caratteristiche del codice di calcolo.

Titolo:	PROGECAD
Versione:	18.0.8
Produttore:	Progesoft
Licenza:	ord. 2448
Utente finale:	ing. GILBERTO CAVANNA

Tab. 9.3: Origine e caratteristiche software di disegno.

Le analisi effettuate per ottenere i risultati riportati in questa relazione sono state eseguite utilizzando un codice di calcolo proprietario le cui caratteristiche sono riportate nella Tab. 9.2. Tale codice è basato sul metodo degli elementi finiti: l'equazione dei lavori virtuali che caratterizza la struttura viene risolta in forma approssimata (soluzione debole) discretizzando la struttura con elementi il cui comportamento è governato dalle equazioni ricavate attraverso la Scienza delle Costruzioni. La soluzione del problema è data in termini di spostamenti nodali, ovvero gli spostamenti dei punti di collegamento tra gli elementi.

Gli elementi con cui la struttura è discretizzata sono caratterizzati da una matrice di rigidezza che mette in relazione gli spostamenti dei nodi del singolo elemento con le forze esterne. Le matrici di rigidezza di tutti gli elementi subiscono un'operazione di rotazione dovuta alla trasformazione dal sistema di riferimento locale dei singoli elementi al sistema di riferimento globale della struttura. Successivamente le matrici di rigidezza vengono opportunamente assemblate per comporre la matrice di rigidezza dell'intera struttura. In questo modo è possibile trasformare le equazioni integrali che caratterizzano il comportamento strutturale in un sistema di equazioni algebriche nella forma:

$$[K]\{u\} = \{f\} \quad (9.1)$$

dove:

- $[K]$ è la matrice di rigidezza globale della struttura;
- $\{u\}$ è il vettore degli spostamenti nodali;
- $\{f\}$ è il vettore delle forze esterne nodali.

La conoscenza degli spostamenti ai nodi della struttura permette di calcolare, di conseguenza, le deformazioni e le sollecitazioni interne dei singoli elementi e di verificare la resistenza e la stabilità della struttura stessa con i criteri dati dalle norme in vigore.

Il codice di calcolo FEME si differenzia da quelli che possono essere trovati in commercio per il fatto di essere dedicato alla modellizzazione di strutture in acciaio per gli impianti elevatori: inserendo il valore di un numero limitato di parametri (dimensioni, profili delle sezioni, ecc.) è

possibile assemblare automaticamente l'intera struttura alla quale devono essere imposti i vincoli cinematici ed applicate le forze esterne.

Per verificare la validità dei risultati ottenuti dal solutore del codice di calcolo sono stati risolti alcuni problemi strutturali di cui è conosciuta la soluzione esatta proveniente dalla Scienza delle Costruzioni. In particolare sono stati verificati i risultati dei seguenti problemi:

- Trave di Eulero-Bernoulli con un vincolo di incastro su un lato (analisi statica e di dinamica libera);
- Stabilità al carico di punta di una trave incatrata su un lato;
- Classificazione e calcolo delle caratteristiche efficaci per una sezione di classe 4.

9.3 Trave di Eulero-Bernoulli incatrata su un lato

Si vuole analizzare il comportamento statico e dinamico della trave a sbalzo mostrata nella Fig. 9.1 sottoposta ad un carico $F=100$ N concentrato nell'estremo libero. Le caratteristiche della trave sono riportate nella Tab. 9.4

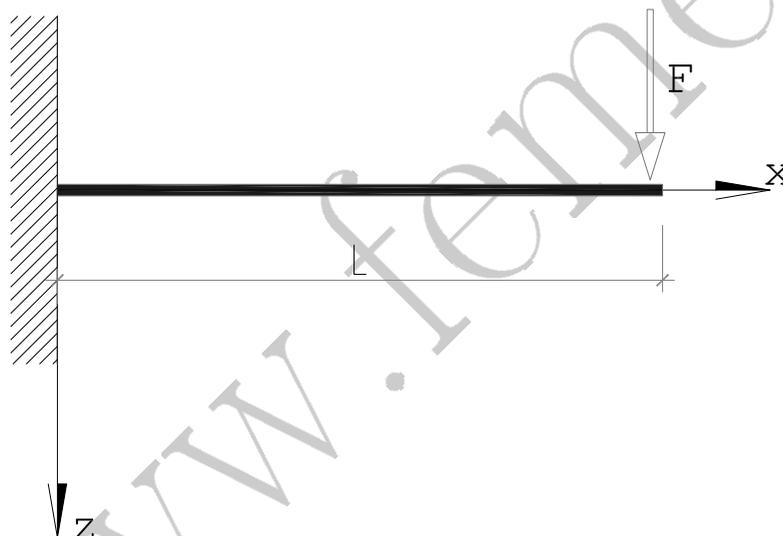


Fig. 9.1: Trave incastrata su un lato.

Lunghezza (L)	1.6 m
Sezione	UPN100
Momento di inerzia asse y (J_y)	$2.05e-06$ m ⁴
Momento di inerzia asse z (J_z)	$2.91e-07$ m ⁴
Area sezione (A)	$1.35e-03$ m ²
Modulo di Young (E)	210 GPa
Densità (ρ)	7800 kg/m ³

Tab. 9.4: Caratteristiche della trave

9.3.1 Analisi statica - soluzione esatta

Equazione Statica Trave Inflessa

$$E J_y w'''' = 0$$

Condizioni al contorno :

- $w(0) = 0$ spostamento nullo all'incastro
- $w'(0) = 0$ rotazione nulla all'incastro
- $E J_y w''(L) = 0$ momento nullo all'estremo libero
- $E J_y w'''(L) = F$ taglio all'estremo libero

Integrando l'equazione si ha:

$$E J_y w''' = c_1 \implies c_1 = F \implies w'''(x) = \frac{F}{E J_y}$$

$$w''(x) = \frac{F}{E J_y} x + c_2 \implies c_2 = -\frac{F}{E J_y} L \implies w''(x) = \frac{F}{E J_y} (x - L)$$

$$w'(x) = \frac{F}{E J_y} \left(\frac{x^2}{2} - Lx \right) + c_3 \implies c_3 = 0$$

$$w(x) = \frac{F}{E J_y} \left(\frac{x^3}{6} - L \frac{x^2}{2} \right) + c_4 \implies c_4 = 0$$

$$w(x) = \frac{F}{E J_y} \left(\frac{x^3}{6} - L \frac{x^2}{2} \right)$$

9.3.2 Analisi statica - soluzione FEME

La trave in esame è stata modellizzata con il metodo agli elementi finiti utilizzando il solutore del codice di calcolo FEME. Il modello scelto è composto da 8 elementi finiti a due nodi aventi il comportamento di trave di Eulero-Bernoulli. Nella Tab. 9.5 sono riportati i valori degli spostamenti della trave lungo la direzione z calcolati con la soluzione esatta (w_{ex}) e con il solutore

agli elementi finiti (w_{FE}).

x [m]	w_{ex} [mm]	w_{FE} [mm]	Δ %
0.0	0.000e+00	0.000e+00	0.0
0.2	7.123e-03	7.123e-03	0.0
0.4	2.726e-02	2.726e-02	0.0
0.6	5.854e-02	5.854e-02	0.0
0.8	9.911e-02	9.911e-02	0.0
1.0	1.471e-01	1.471e-01	0.0
1.2	2.007e-01	2.007e-01	0.0
1.4	2.580e-01	2.580e-01	0.0
1.6	3.172e-01	3.172e-01	0.0

Tab. 9.5: Analisi statica - Confronto spostamenti.

www.feme.biz

9.3.3 Analisi dinamica - soluzione esatta

Equazione Dinamica Libera

$$EJ_y \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Soluzione

$$\sum_{k=1}^{\infty} \psi_k(x) \sin(\omega_k t + \phi_k) d\pi$$

L'Equazione diventa:

$$EI \psi^{IV}(x) - \omega^2 \rho A \psi(x) = 0$$

$$\psi^{IV}(x) - \lambda^4 \psi(x) = 0 \quad \text{con } \lambda^4 = \frac{\omega^2 \rho A}{EI}$$

che ammette soluzione

$$\psi_k(x) = C_1 \cosh \lambda_k x + C_2 \sinh \lambda_k x + C_3 \cos \lambda_k x + C_4 \sin \lambda_k x$$

Condizioni al contorno:

$$\psi(0) = 0 \quad \text{spostamento nullo all'incastro}$$

$$\psi'(0) = 0 \quad \text{rotazione nulla all'incastro}$$

$$M(L) = 0 \Rightarrow \psi''(L) = 0 \quad \text{momento nullo all'estremo libero}$$

$$V(L) = 0 \Rightarrow \psi'''(L) = 0 \quad \text{taglio nullo all'estremo libero}$$

Calcolo Derivate

$$\Psi'_\kappa(x) = \lambda_\kappa (C_1 \sinh \lambda_\kappa x + C_2 \cosh \lambda_\kappa x - C_3 \sin \lambda_\kappa x + C_4 \cos \lambda_\kappa x)$$

$$\Psi''_\kappa(x) = \lambda_\kappa^2 (C_1 \cosh \lambda_\kappa x + C_2 \sinh \lambda_\kappa x - C_3 \cos \lambda_\kappa x - C_4 \sin \lambda_\kappa x)$$

$$\Psi'''_\kappa(x) = \lambda_\kappa^3 (C_1 \sinh \lambda_\kappa x + C_2 \cosh \lambda_\kappa x + C_3 \sin \lambda_\kappa x - C_4 \cos \lambda_\kappa x)$$

Imponendo le condizioni al contorno si ha:

$$\Psi(0) = 0 \quad \Rightarrow \quad C_1 + C_3 = 0 \quad \Rightarrow \quad C_3 = -C_1$$

$$\Psi'(0) = 0 \quad \Rightarrow \quad C_2 + C_4 = 0 \quad \Rightarrow \quad C_4 = -C_2$$

$$\Psi''(L) = C_1 \cosh \lambda_\kappa L + C_2 \sinh \lambda_\kappa L - C_3 \cos \lambda_\kappa L - C_4 \sin \lambda_\kappa L = 0$$

$$\Psi'''(L) = C_1 \sinh \lambda_\kappa L + C_2 \cosh \lambda_\kappa L + C_3 \sin \lambda_\kappa L - C_4 \cos \lambda_\kappa L = 0$$

Sostituendo le prime due espressioni nelle ultime due:

$$\begin{bmatrix} \cosh \lambda_\kappa L + \cos \lambda_\kappa L & \sinh \lambda_\kappa L + \sin \lambda_\kappa L \\ \sinh \lambda_\kappa L - \sin \lambda_\kappa L & \cosh \lambda_\kappa L + \cos \lambda_\kappa L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Il sistema ammette soluzioni se e solo se

$$\det \begin{bmatrix} \dots \\ \dots \end{bmatrix} = 0 \quad \text{e quindi deve essere:}$$

$$(\cosh \lambda_\kappa L + \cos \lambda_\kappa L)^2 - (\sinh^2 \lambda_\kappa L - \sin^2 \lambda_\kappa L) = 0$$

da cui

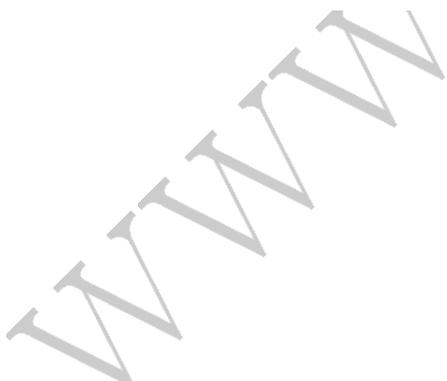
$$\cosh \lambda_\kappa L \cos \lambda_\kappa L + 1 = 0$$

I primi tre valori di λ_k per cui l'equazione è soddisfatta sono:

$$\lambda_1 = 1.875104/L \Rightarrow \omega_1 = 3.516015 \sqrt{\frac{EJ_y}{\rho AL^4}}$$

$$\lambda_2 = 4.694091/L \Rightarrow \omega_2 = 22.034490 \sqrt{\frac{EJ_y}{\rho AL^4}}$$

$$\lambda_3 = 7.854757/L \Rightarrow \omega_3 = 61.697208 \sqrt{\frac{EJ_y}{\rho AL^4}}$$



9.3.4 Analisi dinamica - soluzione FEME

Nella Tab. 9.6 è riportato il confronto tra le prime tre pulsazioni proprie della trave ricavate dalla teoria e quelle calcolate con il solutore FEME.

modo	ω_{ex} [mm]	ω_{FE} [mm]	Δ %
1	277.70	274.14	-1.28
2	1740.35	1718.17	-1.27
3	4873.02	4813.46	-1.22

Tab. 9.6: Analisi dinamica - Confronto pulsazioni proprie.

9.4 Carico critico per una trave incastrata su un lato

Si vuole ora confrontare il valore del carico critico ricavato dal solutore agli elementi finiti con quello teorico euleriano per la trave analizzata negli esempi precedenti. In questo caso il carico concentrato all'estremo libero è diretto lungo l'asse x con verso tale da comprimere la trave. Nella Fig. 9.2 è mostrato il modello in esame.

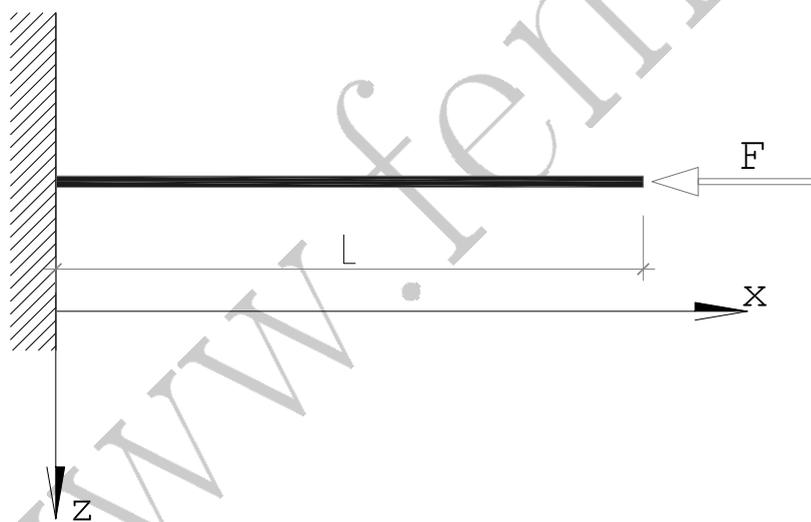


Fig. 9.2: Carico critico - modello di trave.

L'espressione del carico critico euleriano è la seguente:

$$F_{cr} = \pi^2 \frac{EI_{\min}}{L_0^2}$$

dove I_{\min} è il minore tra i momenti di inerzia flessionali della sezione e L_0^2 è la lunghezza libera di inflessione, che, considerando le condizioni al contorno del problema, è pari a $2L$.

Nella Tab. 9.7 è riportato il confronto tra il valore del carico critico euleriano F_{cr}^e e quello calcolato con il solutore FEME, F_{cr}^{FE} .

F_{cr}^e [N]	F_{cr}^{FE} [N]	Δ %
5.8900e+04	5.8900e+04	0

Tab. 9.7: Carico critico - Confronto dei risultati

9.5 Area efficace di una sezione

In questo esempio verranno confrontati i valori dell'area efficace della sezione mostrata nella Fig. 9.3. Le caratteristiche geometriche della sezione sono riportate nella Tab. 9.8

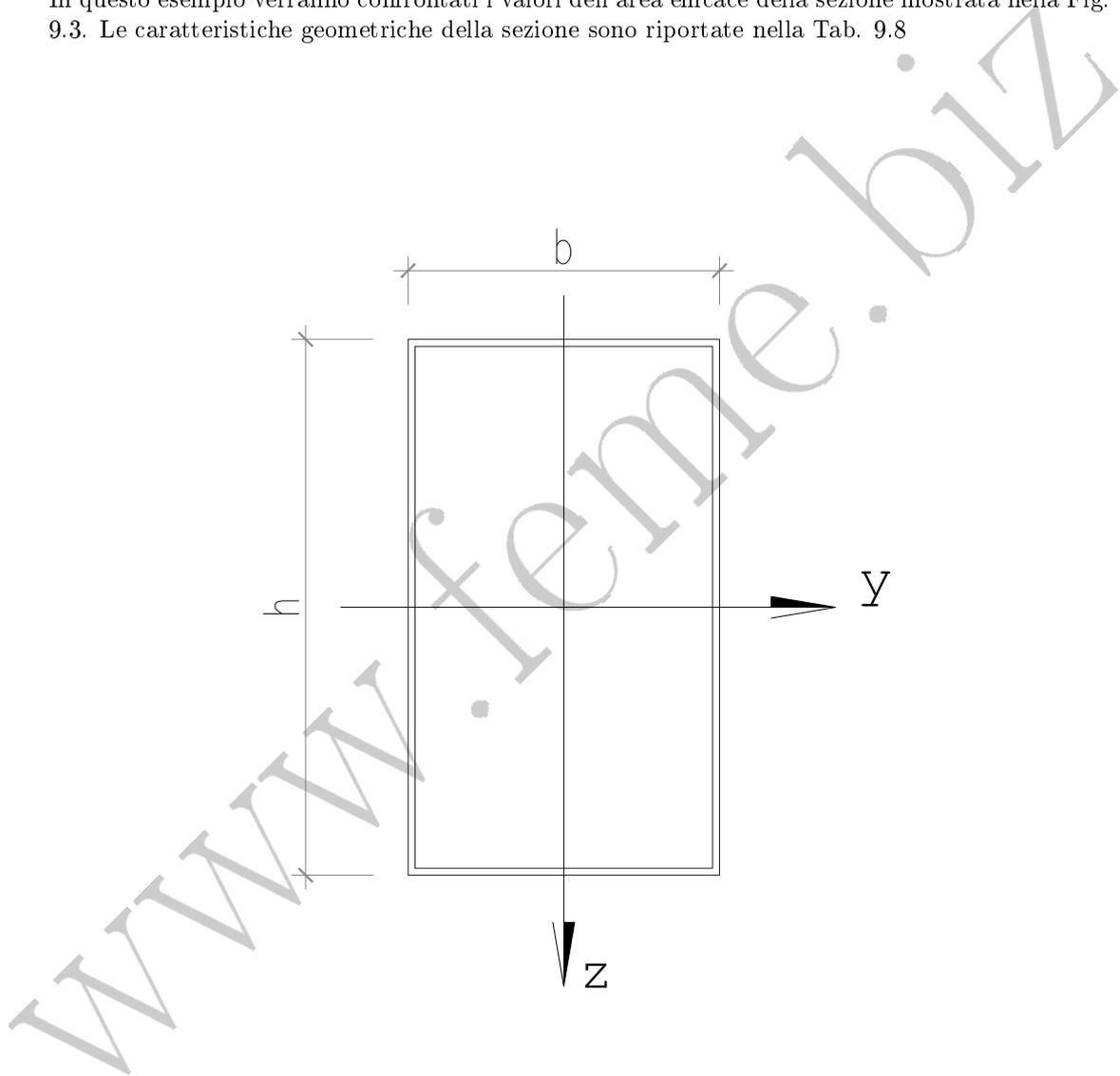


Fig. 9.3: Area efficace - Disegno della sezione.

La procedura di verifica adottata in questo esempio è la seguente:

- calcolo delle caratteristiche lorde della sezione;
- classificazione della sezione;
- calcolo dell'area efficace.

Altezza	h	152 mm
Larghezza	b	52 mm
Spessore	t	2 mm
Raggio di raccordo	r	2 mm

Tab. 9.8: Area efficace - Caratteristiche geometriche della sezione

Si assume che il materiale del profilato sia l'acciaio S235 e che la trave si uniformemente compressa sotto l'azione di un carico assiale pari a 100 kN.

9.5.1 Caratteristiche geometriche lorde

Prima di procedere alla classificazione del profilo, la sezione viene approssimata a "spigoli vivi". Per fare questo bisogna calcolare il raggio medio r_m e la proiezione della distanza g_r tra la linea media e il centro del raccordo (vedi Fig 9.4).

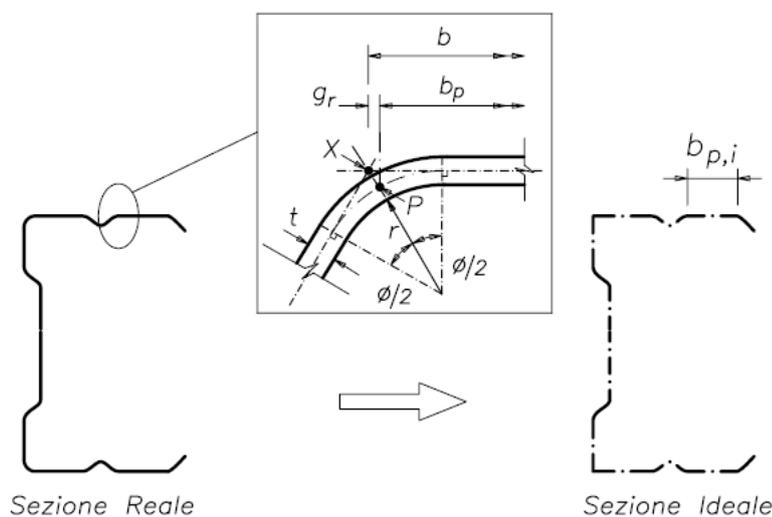


Fig. 9.4: Area efficace - approssimazione a spigoli vivi.

Considerando che l'angolo di raccordo ϕ tra i lati della sezione è pari a 90° , si ha:

$$r_m = r + t/2 = 3 \text{ mm}$$

$$g_r = r_m [\tan(\phi/2) - \sin(\phi/2)] = 0.879 \text{ mm}$$

Le caratteristiche geometriche dell'area così approssimata sono quindi:

$$h_p = h - t - 2g_r = 148.242 \text{ mm}$$

$$b_p = b - t - 2g_r = 48.242 \text{ mm}$$

$$A_g = 785.936 \text{ mm}^2$$

A questo punto bisogna tener presente che il solutore FEME procede alla classificazione della sezione e al calcolo delle caratteristiche di resistenza efficaci a partire dalle coordinate dei punti che definiscono la sezione già approssimata.

9.5.2 Classificazione della sezione

Seguendo le prescrizioni date dall'Eurocodice EC3 parte 1-1 si procede alla classificazione della sezione calcolando i rapporti tra le lunghezze c degli elementi della sezione stessa e lo spessore. Per gli elementi di lunghezza b_p si ha:

$$\frac{c}{t} = \frac{b_p}{t} = \frac{48.242}{2} = 24.121 < 33\varepsilon$$

dove $\varepsilon = \sqrt{f_y/235} = 1$.

Gli elementi sono quindi di classe 1. Per quelli di lunghezza h_p risulta:

$$\frac{c}{t} = \frac{h_p}{t} = \frac{148.242}{2} = 74.121 > 42\varepsilon$$

Tali elementi sono quindi di classe 4.

Dato che la classe dell'intera sezione è pari alla maggiore tra le classi dei singoli elementi, si ha che la sezione è di classe 4.

9.5.3 Calcolo dell'area efficace

Il calcolo dell'area efficace viene effettuato considerando l'effettiva tensione agente sul profilo che è pari a:

$$\sigma_{\text{com,Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A_g} = \frac{100000}{785.936} = 127.2368 \text{ N/mm}^2$$

Gli elementi della sezione interessati dalla riduzione della lunghezza sono quelli di classe 4, ovvero quelli di lunghezza h_p . Per tali elementi è possibile calcolare i parametri $\bar{\lambda}_p$, $\bar{\lambda}_{p,\text{red}}$ e il fattore di riduzione ρ con le espressioni che si trovano nell'EC3:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{h_p/t}{28.4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} = 1.304$$

$$\bar{\lambda}_{p,\text{red}} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{\text{com,Ed}}}{f_y/\gamma_{M0}}} = 0.9839$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_{p,\text{red}} - 0.055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_{p,\text{red}}^2} + 0.18 \frac{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,\text{red}}}{\bar{\lambda}_p - 0.6} = 0.8711$$

dove $k_\sigma=4$ e $\psi=1$ in quanto il profilo è uniformemente compresso (vedi tabelle presenti nell'EC3).

Attraverso il fattore di riduzione è possibile calcolare la lunghezza efficace h_{eff} e, quindi, l'area della sezione efficace:

$$h_{\text{eff}} = \rho \cdot h_p = 0.8711 \cdot 148.242 = 129.1297 \text{ mm}$$

$$A_{\text{eff}} = 2 \cdot (h_{\text{eff}} + b_p) \cdot t = 2 \cdot (129.1297 + 48.242) \cdot 2 = 709.4868 \text{ mm}^2$$

Soluzione		FEME	
$h_{\text{eff}}[\text{mm}]$	$A_{\text{eff}}[\text{mm}^2]$	$h_{\text{eff}}[\text{mm}]$	$A_{\text{eff}}[\text{mm}^2]$
129.1297	709.4868	129.1282	709.4806

Tab. 9.9: Area efficace - Confronto tra i risultati

Il confronto tra il risultato appena ottenuto e quello ricavato tramite il solutore FEME è riportato nella Tab. 9.9.

www.feme.biz

www.feme.biz

**STRUTTURA METALLICA PER VANO CORSA IMPIANTO
ELEVATORE**

**OPERA FINALIZZATA ALL'ABBATTIMENTO DELLE BARRIERE
ARCHITETTONICHE**

DITTA COSTRUTTRICE:	DEMO
RIFERIMENTO:	DEMO
LUOGO DI INSTALLAZIONE:	Via - 00 - AA
PROGETTO N:	00000

IL PRESENTE DOCUMENTO CONTIENE I FASCICOLI SOTTO RIPORTATI:

- **D1 - PROGETTO STRUTTURALE (ELABORATI ESECUTIVI STRUTTURALI)**

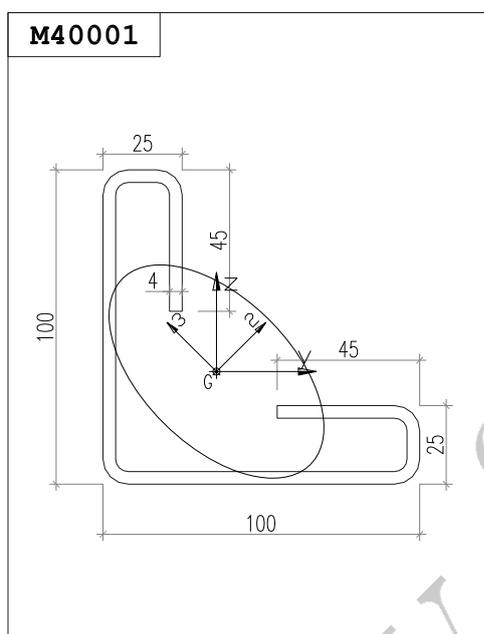
www.feme.biz

10. Strutturale

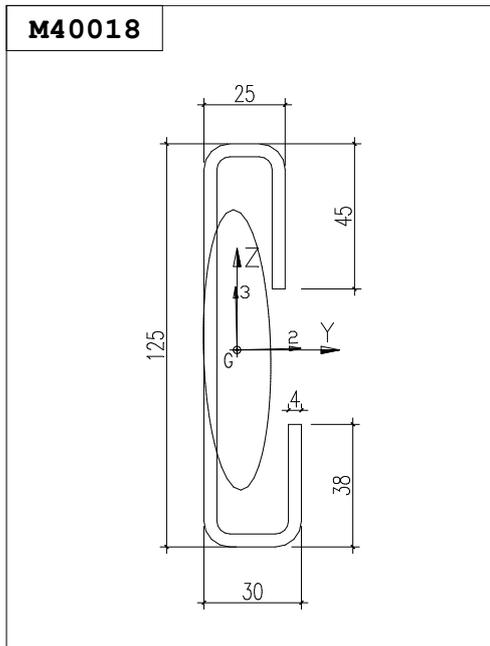
www.feme.biz

11. Disegni dei particolari costruttivi degli elementi portanti

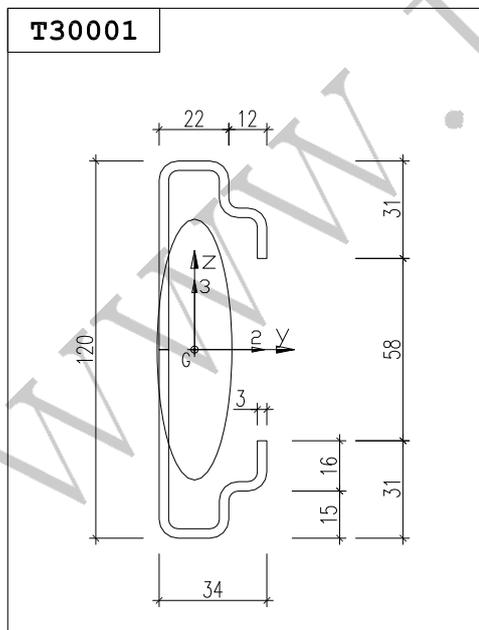
Di seguito sono riportate le rappresentazioni dei profili utilizzati e dei particolari costruttivi strutturali. Nel caso siano presenti montanti asimmetrici, il particolare della piastra di collegamento alla base è riportato nelle due configurazioni possibili: per riconoscere quale delle due è di fatto presente nel modello si consiglia di controllare la reale disposizione dei montanti. I disegni riportati di seguito non sono in scala. Per la consultazione dei particolari in scala vedere la tavola presente nel fascicolo del disegno strutturale o quella allegata in formato cartaceo.



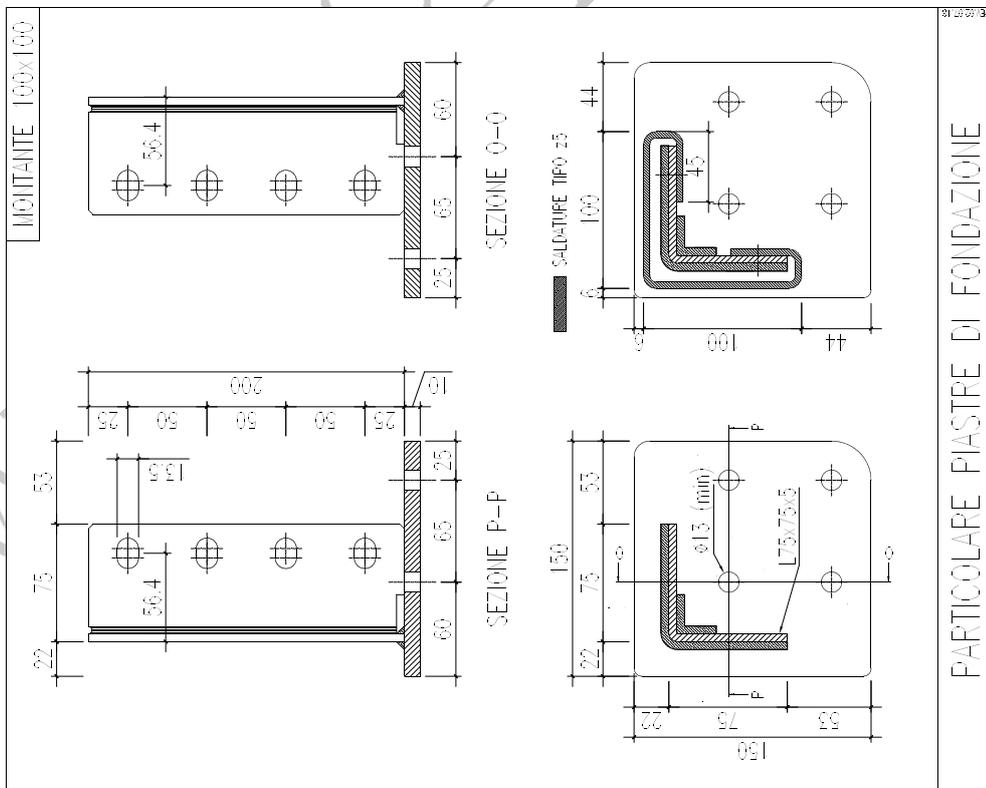
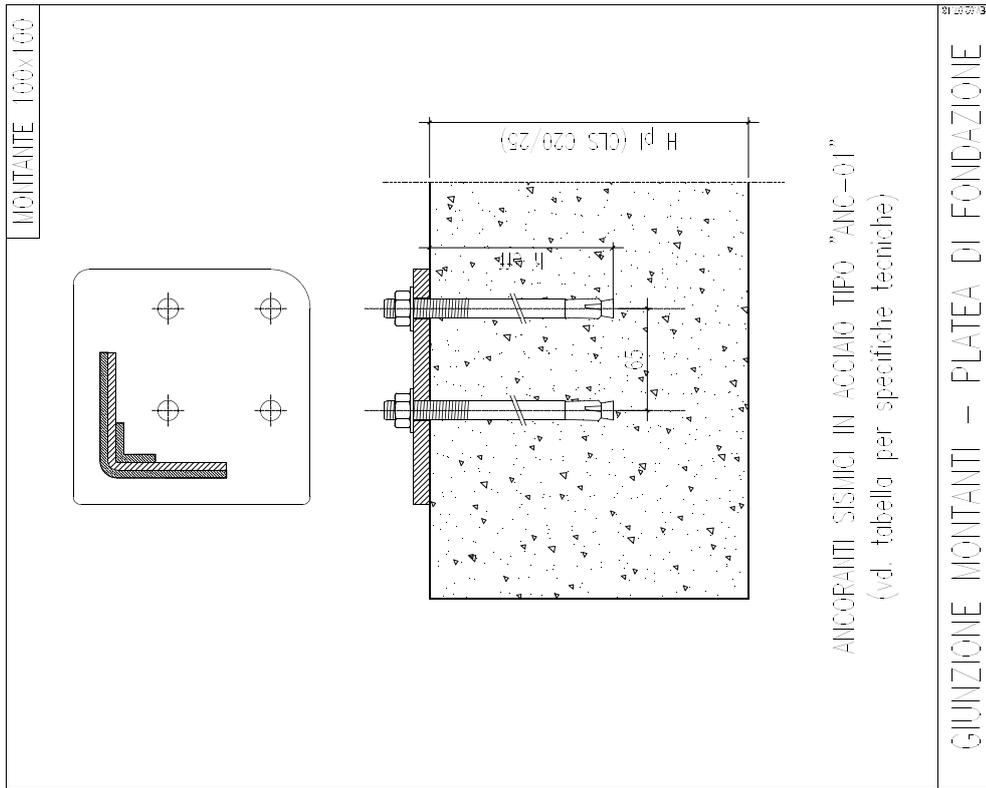
M40001	
Area sezione:	12.240 cm ²
Materiale:	S235JR
Peso lineare:	9.610 daN/m
Momenti di Inerzia assi principali	
J _t	0.649 cm ⁴
J ₂	214.740 cm ⁴
J ₃	67.000 cm ⁴
Resistenze fless. elastiche assi principali	
W ₂	31.860 cm ³
W ₃	14.150 cm ³
Fattori di taglio assi principali	
χ ₂	1.350
χ ₃	1.580
Resistenze fless. plastiche assi principali	
W _{2p}	24.280 cm ³
W _{3p}	46.480 cm ³

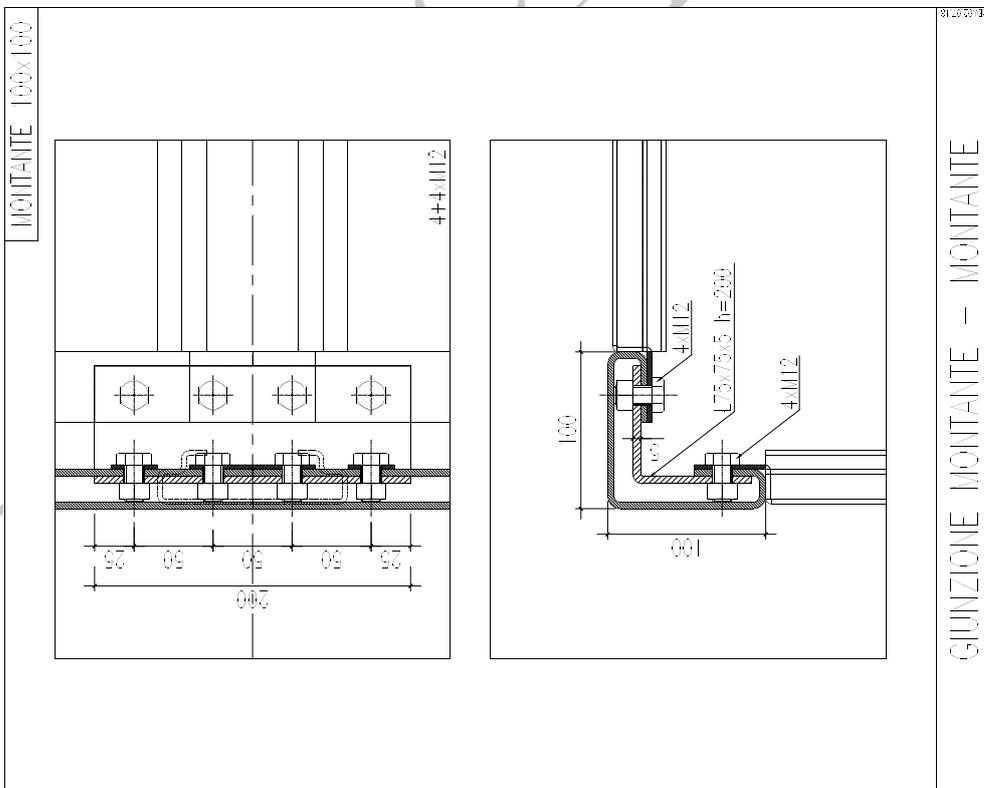
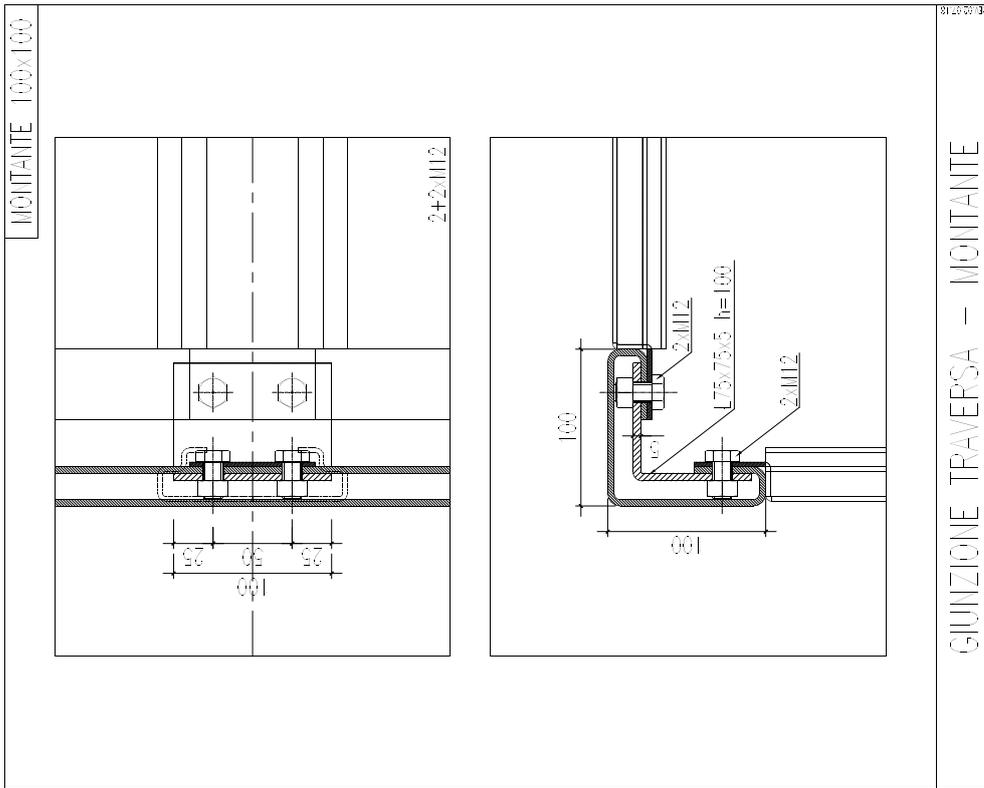


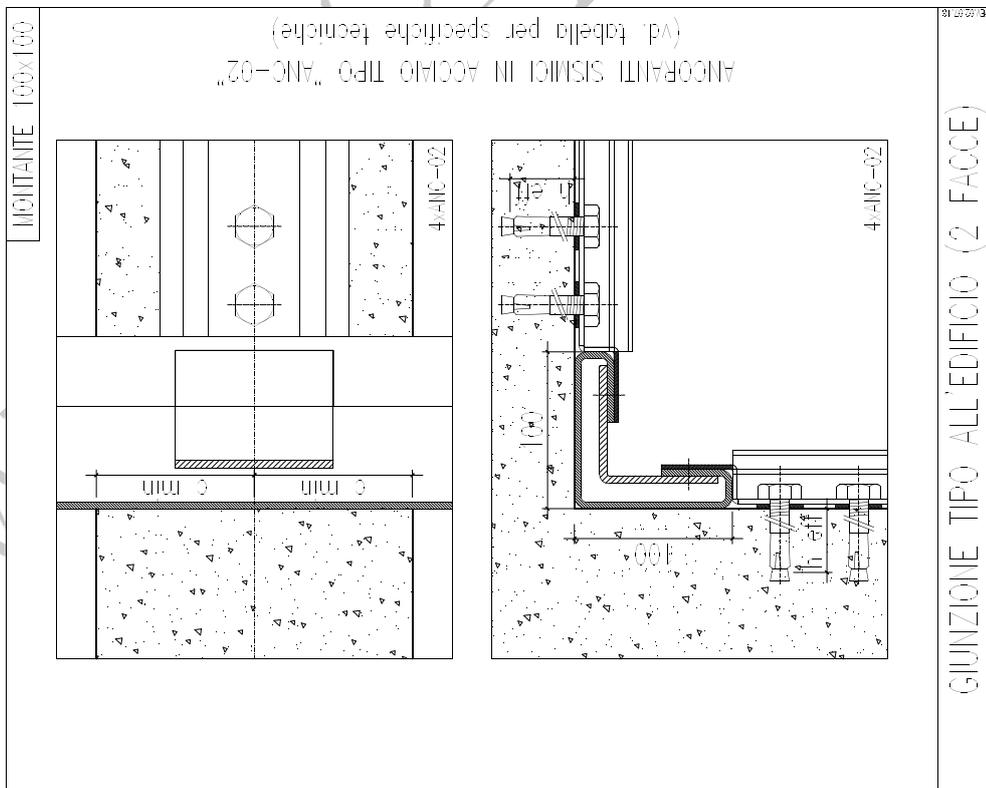
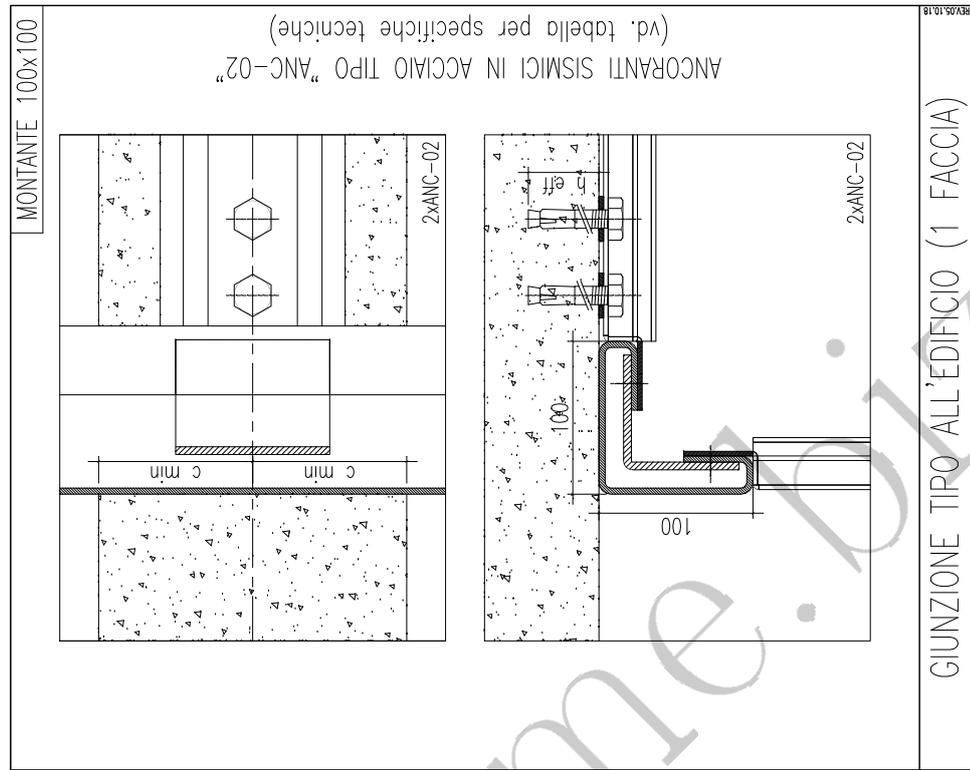
M40018	
Area sezione:	8.510 cm ²
Materiale:	S235JR
Peso lineare:	6.680 daN/m
Momenti di Inerzia assi principali	
J _t	0.451 cm ⁴
J ₂	161.000 cm ⁴
J ₃	9.060 cm ⁴
Resistenze fless. elastiche assi principali	
W ₂	25.170 cm ³
W ₃	4.780 cm ³
Fattori di taglio assi principali	
χ ₂	3.370
χ ₃	1.640
Resistenze fless. plastiche assi principali	
W _{2p}	33.680 cm ³
W _{3p}	7.160 cm ³

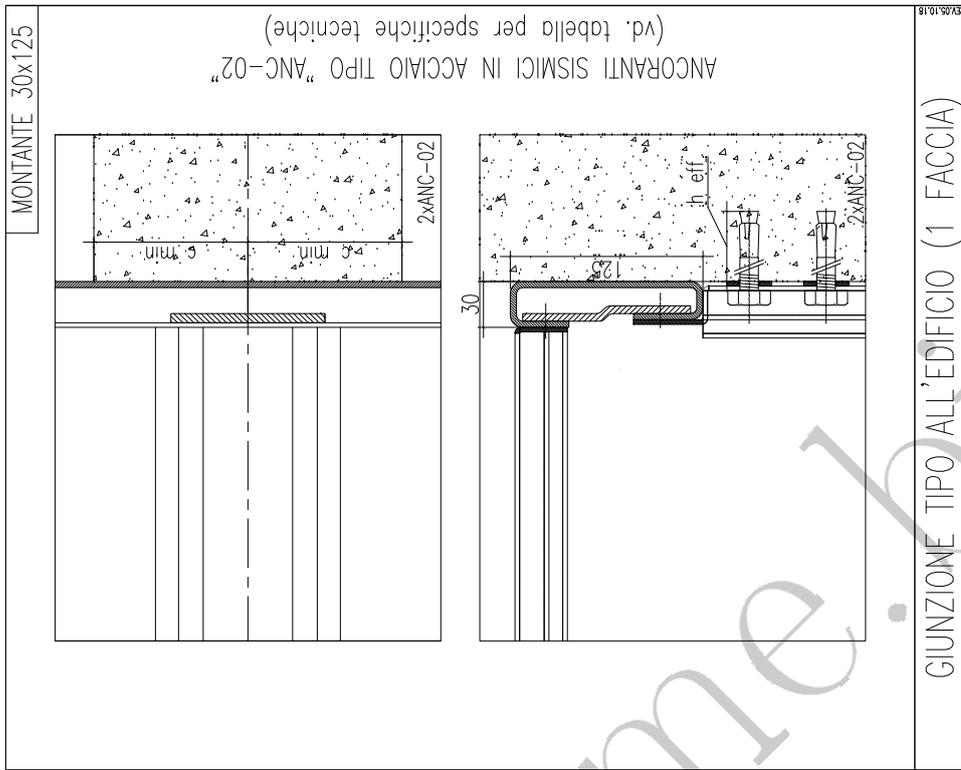
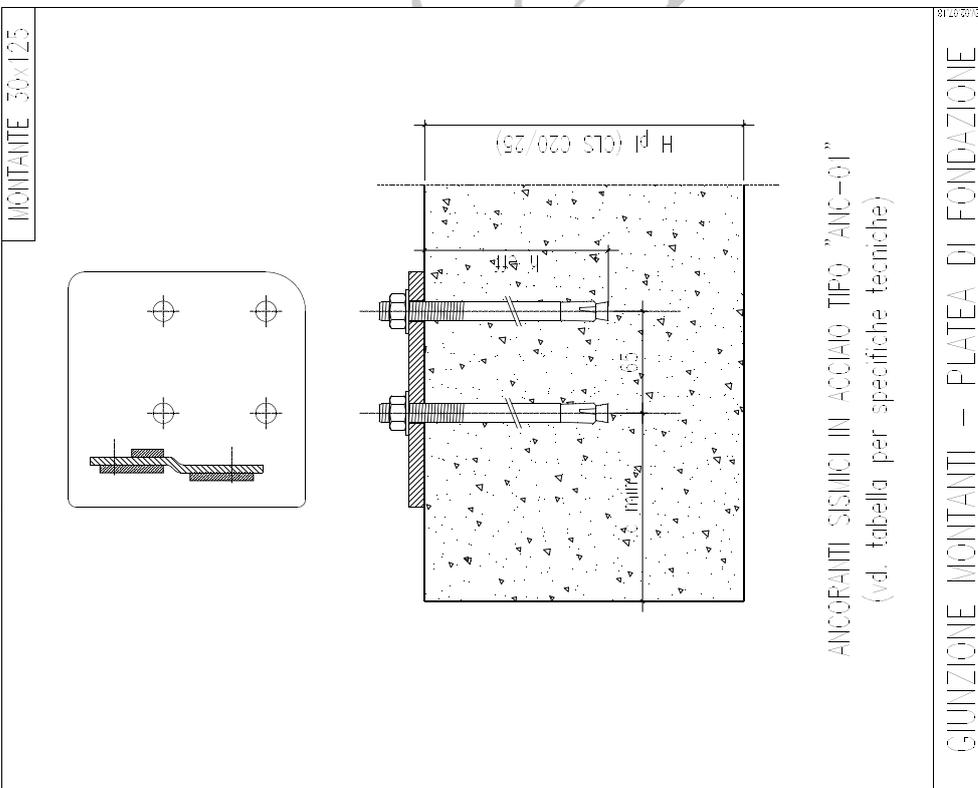


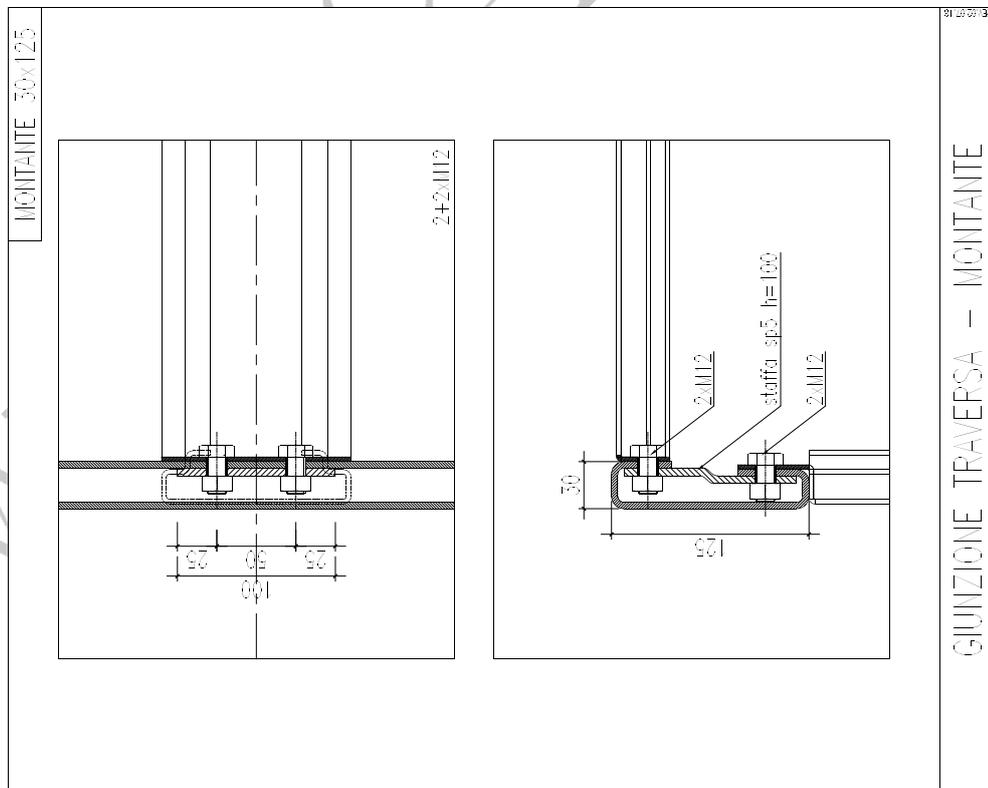
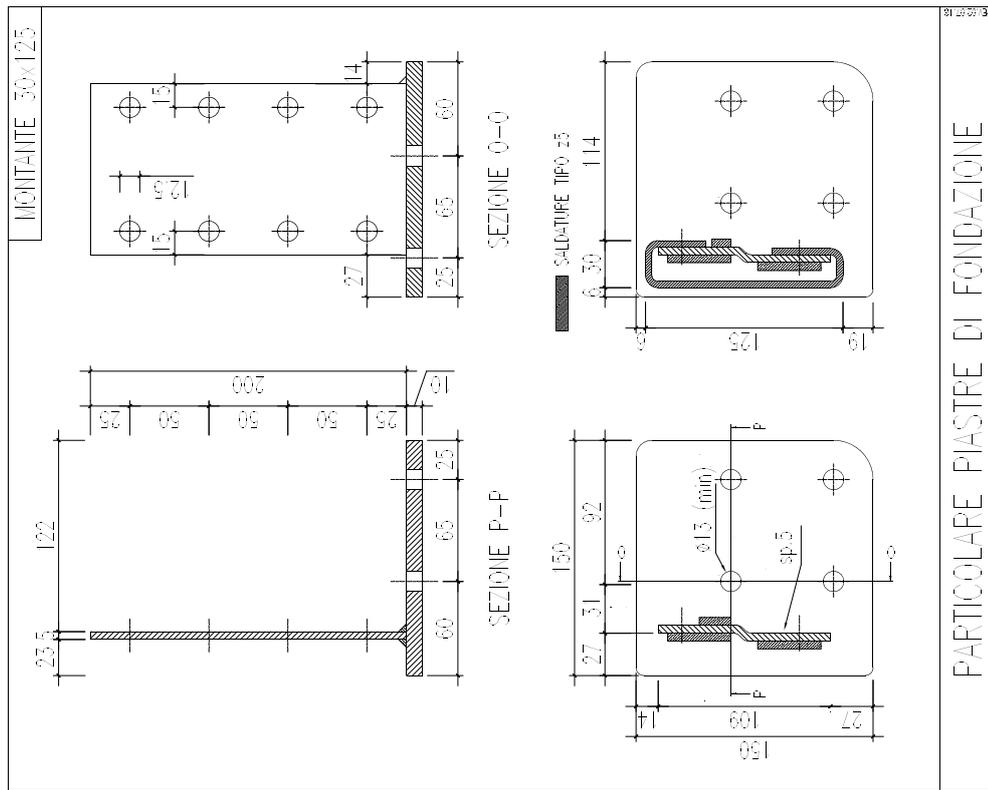
T30001	
Area sezione:	6.630 cm ²
Materiale:	S235JR
Peso lineare:	5.210 daN/m
Momenti di Inerzia assi principali	
J _t	0.197 cm ⁴
J ₂	114.290 cm ⁴
J ₃	9.240 cm ⁴
Resistenze fless. elastiche assi principali	
W ₂	19.100 cm ³
W ₃	4.050 cm ³
Fattori di taglio assi principali	
χ ₂	3.070
χ ₃	1.740
Resistenze fless. plastiche assi principali	
W _{2p}	25.200 cm ³
W _{3p}	6.440 cm ³



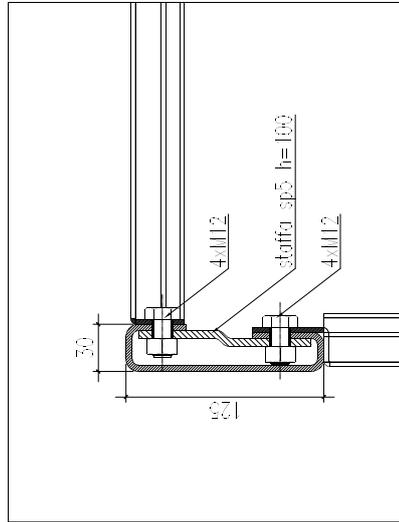
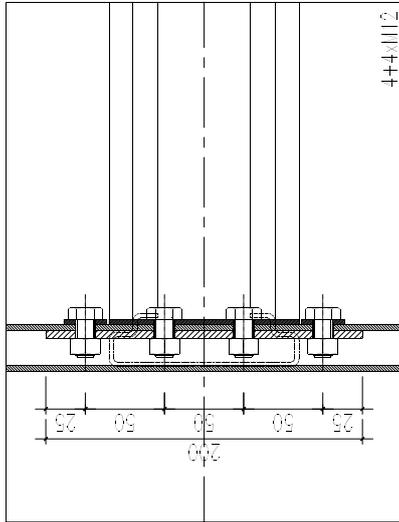








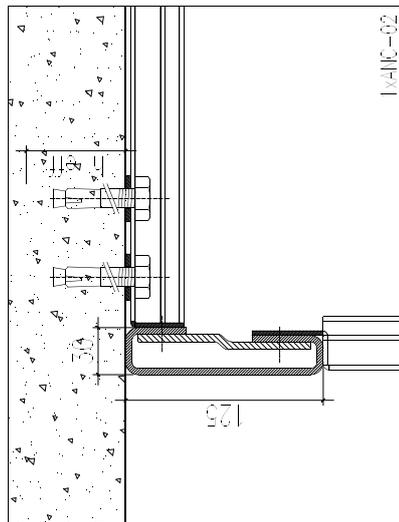
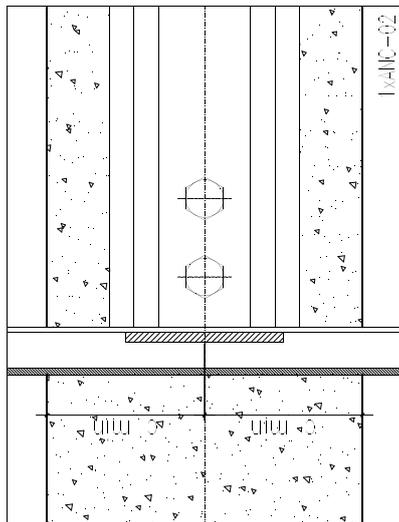
MONTANTE 30x125



GIUNZIONE MONTANTE - MONTANTE

FE 102 07 18

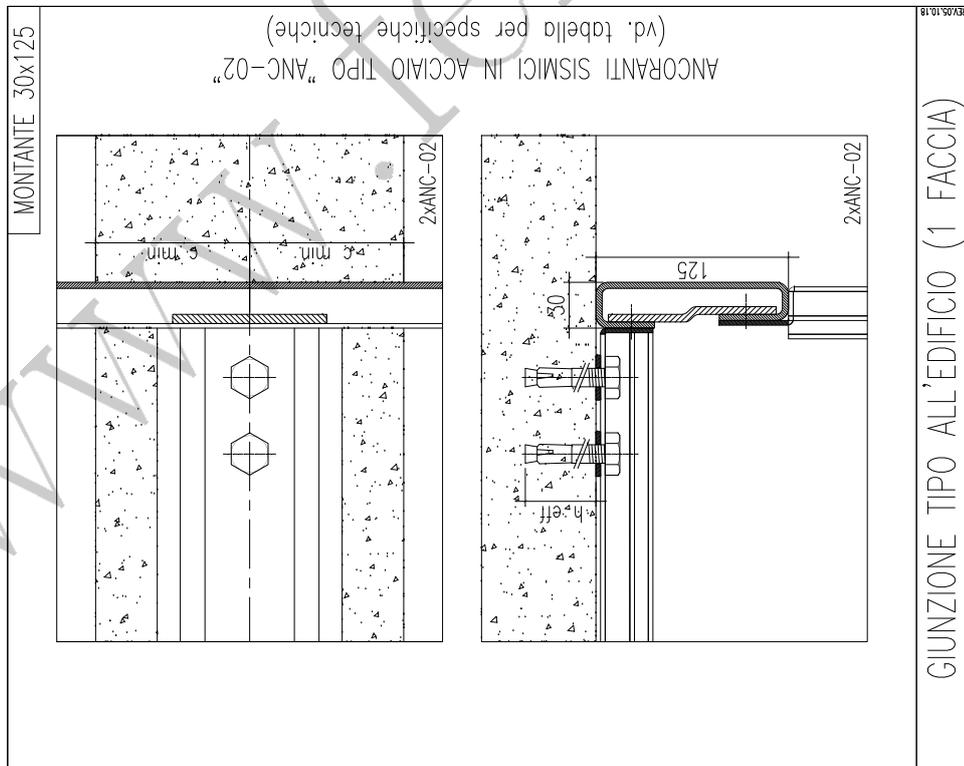
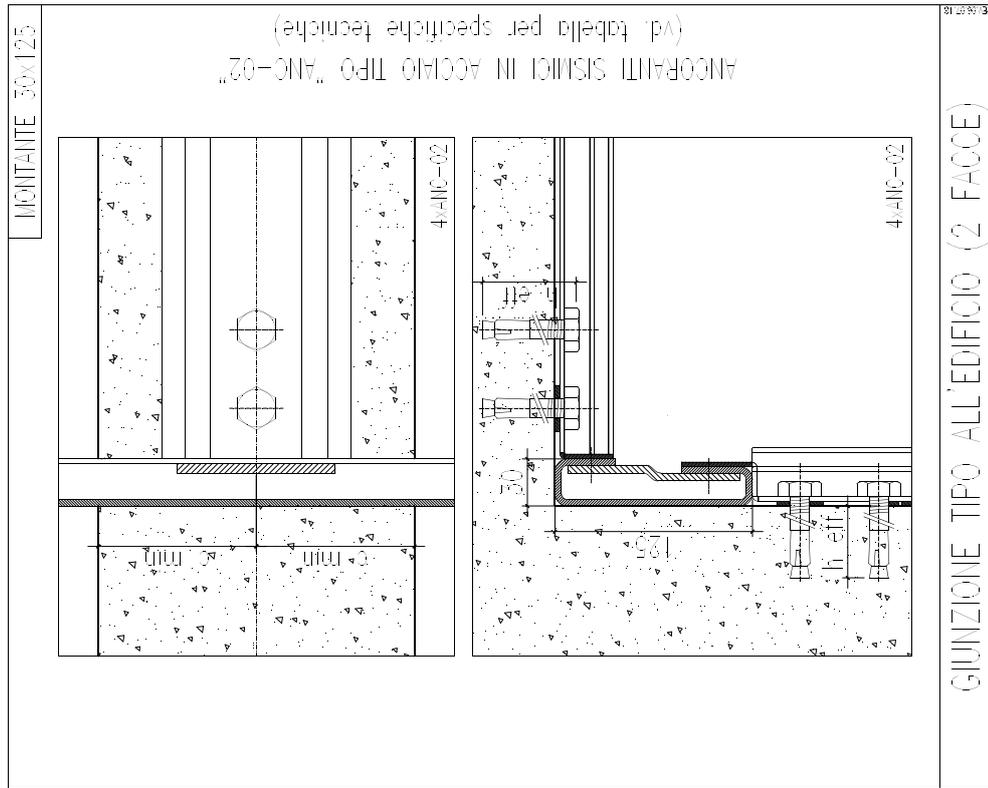
MONTANTE 30x125

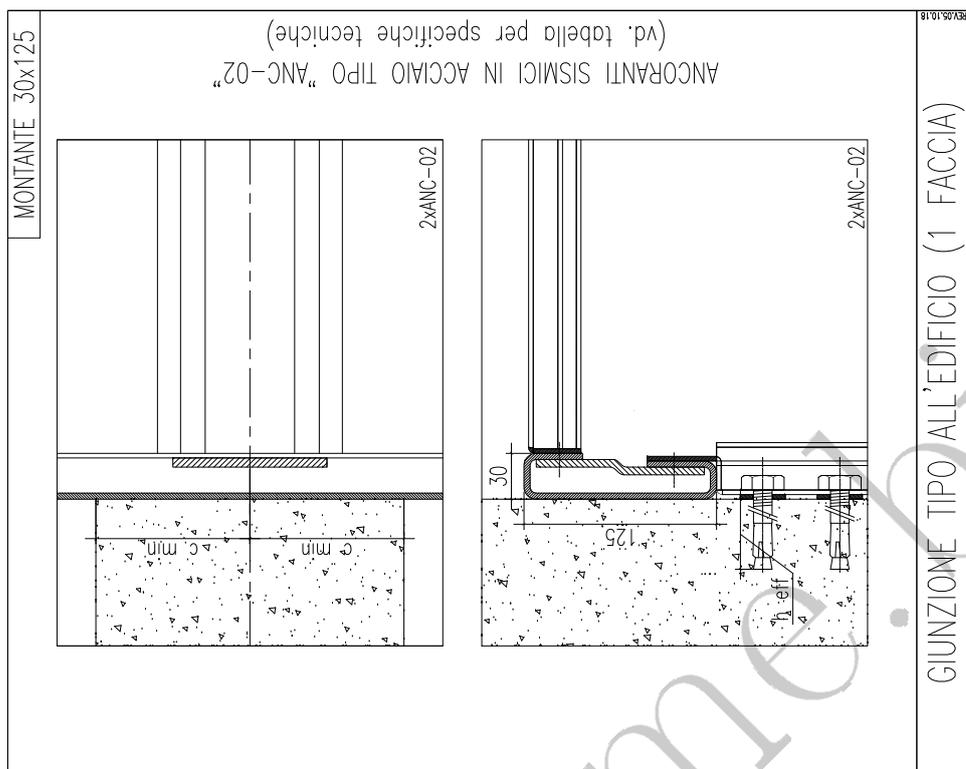


ANCORANTI SIMILI IN ACCIAIO TIPO "ANC-02"
(vd. tabella per specifiche tecniche)

GIUNZIONE TIPO ALL'EDIFICIO (1 FACCIA)

FE 102 07 18





www.feme.biz

ANCORANTE SISMICO IN ACCIAIO TIPO "ANC-01"			
misura filetto x lunghezza			M16x145
lunghezza	L	mm	145
spessore serraggio max	Tfix	mm	25
profondità foro	h1	mm	110
profondità ancoraggio	heff	mm	85
coppia serraggio	Tins	Nm	90
chiave	SW	mm	24
altezza minima supporto	Hmin	mm	170
calcestruzzo supporto			C20-25
altezza minima platea	H pl	mm	250
diametro foro	Ø foro	mm	18
interasse minimo ancoranti	s min	mm	65
distanza minima dal bordo	c min	mm	120
resistenza (categ sism. C2)	NRd	daN	920
	VRd	daN	2860

ANCORANTE SISMICO - TIPO WURTH W-FAZ/S

(ulteriori dati disponibili nei cataloghi tecnici)

ANCORANTE SISMICO IN ACCIAIO TIPO "ANC-02"			
misura filetto x spessore serraggio			M16-50
lunghezza	L	mm	182
spessore serraggio max	Tfix	mm	50
profondità foro	h1	mm	130
profondità ancoraggio	heff	mm	100
coppia serraggio	Tins	Nm	160
chiave	SW	mm	24
altezza minima supporto	Hmin	mm	200
calcestruzzo supporto			C20-25
altezza minima platea	H pl	mm	250
diametro foro	Ø foro	mm	26
interasse minimo ancoranti	s min	mm	100
distanza minima dal bordo	c min	mm	180
resistenza (categ sism. C2)	NRd	daN	1930
	VRd	daN	4080

ANCORANTE SISMICO - TIPO WURTH W-HAZ/S-S
(ulteriori dati disponibili nei cataloghi tecnici)

www.feme.biz

**STRUTTURA METALLICA PER VANO CORSA IMPIANTO
ELEVATORE**

**OPERA FINALIZZATA ALL'ABBATTIMENTO DELLE BARRIERE
ARCHITETTONICHE**

DITTA COSTRUTTRICE:	DEMO
RIFERIMENTO:	DEMO
LUOGO DI INSTALLAZIONE:	Via - 00 - AA
PROGETTO N:	00000

IL PRESENTE DOCUMENTO CONTIENE I FASCICOLI SOTTO RIPORTATI:

- F - PIANO DI MANUTENZIONE DELLA PARTE STRUTTURALE DELL'OPERA**

www.feme.biz

12. Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera

12.1 Generalità

omissis

12.2 Manutenzione delle strutture metalliche

omissis

12.2.1 Manutenzione della protezione delle strutture zincate

omissis

12.2.2 Manutenzione della protezione delle strutture verniciate

Il programma di manutenzione per la protezione anticorrosiva delle strutture in acciaio verniciate deve essere esteso a tutta la durata in servizio delle strutture. Secondo la normativa UNI EN ISO 12944-8 si deve prevedere, per la struttura in oggetto, una manutenzione ordinaria da tenersi con cadenza regolare e una manutenzione straordinaria da effettuarsi quando si manifestino le condizioni previste dalle norme.

12.3 Manutenzione ordinaria

Per prolungare la durata del rivestimento protettivo per tutta la vita nominale della struttura è necessario eseguire una ordinaria manutenzione prima che si manifesti una qualsiasi traccia di ruggine e, preferibilmente, ogni qualvolta vengano riscontrate alterazioni del rivestimento protettivo (sfarinamenti, screpolature, vescicamento e altri danneggiamenti).

I committenti, la direzione lavori, i costruttori e i controllori dei rivestimenti devono essere a conoscenza di informazioni condivise e precise circa il sistema protettivo utilizzato per proteggere la struttura. Queste informazioni devono essere complete e precise e devono essere facilmente comprensibili da tutti i soggetti coinvolti in modo da permettere di interpretarle correttamente per consentire le verifiche e le successive operazioni manutentive.

La frequenza degli interventi di manutenzione ordinaria dipende da molti fattori, fra cui:

- collocazione geografica della struttura,
- classe di corrosività ambientale (marina, industriale, residenziale, rurale, ecc. . .),
- livello delle emissioni inquinanti nell'aria,
- presenza di eventi con notevole intensità,
- possibilità di pulviscoli trasportati dal vento,
- etc. . .

Le vernici che compongono il sistema protettivo necessitano di regolare manutenzione e pulizia per assicurare la continuità delle proprietà protettive della superficie.

Il procedimento di pulizia deve essere effettuato attraverso un regolare lavaggio della superficie utilizzando una soluzione di acqua e detergente (PH 5-8). Non vanno utilizzati spazzole o altri strumenti abrasivi.

In ambiente non particolarmente aggressivo (ambiente urbano o rurale) la normale frequenza di pulizia può essere di circa 12 mesi. Quando l'ambiente è aggressivo la frequenza di pulizia va

Ambiente urbano e rurale	controllo e pulizia ogni 12 mesi
Ambiente industriale	controllo e pulizia ogni 6 mesi
Ambiente marino	controllo e pulizia ogni 3 mesi
Ambiente industriale marino	controllo e pulizia ogni 2 mesi

Tab. 12.1: Frequenza controllo e pulizia della struttura metallica

ridotta a intervalli minori secondo il prospetto riportato nella Tab. 12.1

12.4 Manutenzione straordinaria

Lo stato di un rivestimento di protezione può essere verificato secondo la UNI EN ISO 4628 (parti da 1 a 6).

La manutenzione straordinaria è da effettuarsi quando si manifestino le condizioni previste dalle norme UNI EN ISO 4628-3 e precisamente quando viene raggiunto il grado di arrugginimento Ri3 (1% della superficie della struttura) o nella eventualità di particolari danneggiamenti al rivestimento protettivo o ignifugo (se presente).

Anche in questo caso colui che realizza il rivestimento protettivo dovrebbe fornire tutte le indicazioni per permettere la stesura di un piano di manutenzione straordinaria o, quantomeno, le indicazioni per il ripristino dei danneggiamenti.

12.5 Note conclusive

- La struttura va realizzata il più possibile stagna, fatta eccezione per le aperture di ventilazione posizionate nella testata del vano corsa);
- nel caso di strutture realizzate all'esterno degli edifici è necessario che eventuali operazioni di manutenzione e montaggio non vengano eseguite in condizioni di vento severo;
- nel caso di strutture metalliche realizzate in profili scatolati ed esposte agli agenti atmosferici è indispensabile porre particolare cura nella prevenzione e nel controllo della ossidazione / corrosione causata da possibili ristagni d'acqua all'interno dei profilati (in particolare nella fossa del vano corsa);
- qualora risultasse necessaria la sostituzione di un elemento strutturale è necessario consultare preventivamente un tecnico strutturista che controlli, garantisca e supervisioni la correttezza della operazione.