



Comune di
Crevalcore



Comune di
San Giovanni in Persiceto



Comune di
Casalecchio di Reno



Comune di
Bologna



Comune di
Sasso Marconi



Comune di
Marzabotto

Ciclovia del Sole: tratto 3 attraversamento dei centri abitati di Crevalcore,
San Giovanni in Persiceto, Sala Bolognese -
tratto 4: Casalecchio - Marzabotto
CUP n° C61B21013060002

PROGETTO DEFINITIVO



Coordinamento e integrazione delle prestazioni specialistiche:
arch. Enrico Guaitoli Panini

Progettazione ciclabile e paesaggistica:
arch. Irene Esposito, paes. Giulia Mazzali, arch. Eleonora Vaccari,
arch. Michele Gessani, dott. paes. Sara Martignoni, arch. Alberto Coppi

Progettazione delle strutture:
prof. ing. Massimo Majowiecki, ing. Giovanni Berti,
ing. Ivonica Mingozi, ing. Elisa Sammarco, ing. Mario Chinni

Geologia, Ambiente, Idraulica:
geol. Pierluigi Dallari, geol. Arianna Casarini, geol. Lisa Gasparini,
geol. Emiliano Quadernari, ing. Yos Zordi

Coordinamento della sicurezza:
ing. Fausto Gallarello, ing. Roberto Perlangeli

Il Responsabile Unico del Procedimento:
ing. Maurizio Martelli

Supporto al RUP:
ing. Chiara Ferrari
arch. Federica Sodano
ing. Sara Destro
dott.ssa Silvia Mazza
arch. Giulia Maroni

Passerella ciclopedonale Fiume Reno - Sasso Marconi/Marzabotto
Relazione tecnica delle strutture metalliche

SCALA	FORMATO
...	A4
CODICE	DATA
REL_6_4	30/11/2023

N. REV.	DATA	DESCRIZIONE	DISEGNATO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	30/11/2023		S.P.	S.P.	M.M.



Sommario

1	Premessa	4
2	Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto esecutivo.....	5
3	Descrizione generale e strutturale dell’opera.....	7
3.1	L’opera principale: il ponte	7
3.1.1	Tipologia nodi - Trave reticolare spaziale.....	10
3.1.2	Tipologia nodi - Pennoni	13
3.1.3	Il montaggio.....	15
3.2	Le opere minori: le rampe di accesso.....	16
3.3	Opere in elevazione in c.a. e fondazioni	16
3.4	Condizioni d’uso e livelli di sicurezza della costruzione	17
3.4.1	Classe d’uso	17
3.4.2	Classe di esecuzione	17
3.5	Descrizione generale dei criteri generali di progettazione, analisi e verifica	18
3.5.1	Considerazioni sulle possibili vibrazioni indotte dal vento e dal transito dei pedoni.....	18
3.6	Quadro normativo di riferimento adottato, norme di riferimento cogenti e altre norme e documenti tecnici integrativi	20
4	Note generali.....	21
5	Materiali strutturali	23
5.1	Calcestruzzo	23
5.1.1	Classi di esposizione del cls delle strutture di fondazione e di elevazione	23
5.1.2	Caratteristiche dei calcestruzzi a prestazione garantita	23
5.1.3	Copriferri	24
5.1.4	Assunzioni in tema di verifiche di fessurazione	25
5.2	Acciaio in barre d’armatura per conglomerato cementizio armato	25
5.3	Acciaio per carpenteria metallica.....	26
5.3.1	Acciaio da carpenteria.....	26
5.3.2	Acciaio per tirafondi.....	27
5.3.3	Acciaio per perni	28
5.3.4	Bulloni.....	28
5.3.5	Saldature e processi di saldatura	28
5.3.6	Protezione dalla corrosione	29
5.3.7	Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore - Classe dell’acciaio da carpenteria (valore Z)	30

5.4	Lamiere grecate.....	31
5.5	Connettori lamiera grecata-cls.....	31
5.6	Funi.....	31
5.7	Apparecchi d'appoggio.....	32
6	Analisi dei carichi.....	33
6.1	Vita nominale dell'opera.....	33
6.2	Aree di riferimento.....	33
6.3	Carichi permanenti.....	33
6.3.1	Pesi propri degli elementi strutturali.....	33
6.3.2	Carichi permanenti portati.....	33
6.4	Carichi variabili per ponti di 3° categoria.....	34
6.5	Azione convenzionale longitudinale.....	34
6.6	Azione della neve.....	35
6.7	Azioni idrodinamiche.....	35
6.8	Spinta delle terre.....	35
6.9	Azioni della temperatura.....	35
6.10	Azione del vento.....	36
6.10.1	Coefficiente dinamico Cd (o CsCd).....	38
6.11	Azione del sisma.....	42
6.11.1	Spettri in accordo con TU 2018.....	42
6.12	Combinazioni di carico.....	46
7	Analisi strutturale.....	47
7.1	Metodo di analisi degli effetti dell'azione sismica.....	47
7.2	Rispetto dei requisiti nei confronti degli stati limite.....	48
7.3	Modalità di calcolo delle capacità degli elementi in c.a. con riferimento al loro comportamento elastico in ambito sismico.....	48
7.4	Effetti delle imperfezioni.....	48
7.5	Valori di calcolo delle resistenze dei materiali strutturali.....	48
7.6	Progettazione di elementi costruttivi non strutturali.....	49
7.7	Dimensionamento delle ampiezze del giunto longitudinale tra l'impalcato e la pila destra.....	49
8	Allegati e altri documenti.....	49

1 Premessa

In accordo con le norme vigenti ed in particolare con l'atto di indirizzo nr. 1373/2011 ("Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1 e dell'art. 4, comma 1 della L.R. n. 19 del 2008" della Giunta della Regione Emilia Romagna, la presente relazione tecnica contiene la parte introduttiva denominata "Illustrazione sinestetica degli elementi essenziali del progetto strutturale" volta ad evidenziare gli elementi essenziali che caratterizzano il progetto e ad illustrare il processo attraverso il quale il progettista ha provveduto all'elaborazione del progetto stesso, alla luce della normativa tecnica e in considerazione delle caratteristiche del sito e della costruzione da realizzare.

L'obiettivo della presente Relazione Tecnica e dei suoi Allegati é di:

- sintetizzare, organizzare ed esplicitare, ove necessario, quanto richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M. 17 gennaio 2018 (di seguito denominate NTC-2018) per la stesura del progetto esecutivo riguardante le strutture da parte del progettista, per la lettura da parte degli altri soggetti coinvolti nel processo di realizzazione e nell'uso della costruzione, per facilitare l'interpretazione da parte delle figure preposte al controllo, per consentire elaborazioni indipendenti da parte di soggetti diversi dal redattore del progetto esecutivo riguardante strutture, per garantire il rispetto delle prescrizioni normative per le stesse strutture e assicurare che nella redazione del progetto si sia tenuto debitamente conto delle esigenze di riduzione del rischio sismico;
- fornire indirizzi operativi in merito agli aspetti prestazionali e/o non definiti dalle NTC-2018 relativi agli elaborati del progetto, nel rispetto delle scelte progettuali e delle norme vigenti;
- garantire che l'attività di progettazione esecutiva sia stata affrontata nel suo complesso e volta a mitigare e risolvere le reciproche interferenze tra le componenti architettoniche, tecnologiche e strutturali dell'organismo edilizio;
- garantire che l'attività di progettazione esecutiva sia stata affrontata tenendo conto dei requisiti di resistenza meccanica e di durabilità con particolare riferimento alla riduzione degli interventi di manutenzione straordinaria da compiere durante la vita nominale dell'opera strutturale al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza e il valore economico; in sostanza progettare la struttura nei riguardi anche della durabilità e fornire le specifiche sui materiali e sulle modalità della loro posa in opera;
- garantire che la documentazione sia completa ed esaustiva affinché le prescrizioni in essa contenute consentano la realizzazione dell'intervento conformemente alle previsioni progettuali.

I contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture sono conformi alle prescrizioni delle norme vigenti, in particolare: all'art. 93 del D.P.R. n. 380/2001, alle NTC-2018 e alle altre norme ivi richiamate.

2 Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto esecutivo

Il presente paragrafo, contenente la “Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale”, é organizzato secondo i contenuti specificati nell’Allegato B, paragrafo B.2.2. dell’atto di indirizzo nr. 1373/2011 e riportati nel riquadro seguente che associa a tali contenuti i riferimenti necessari a rintracciarli con facilitá all’interno della Relazione (redatta secondo gli obiettivi espositivi del Progettista).

Contenuti	Riferimenti
a) descrizione del contesto edilizio e delle caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del sito oggetto di intervento e con l’indicazione, per entrambe le tematiche, di eventuali problematiche riscontrate e delle soluzioni ipotizzate, tenuto conto anche delle indicazioni degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;	Vedere Relazione Geologica; Vedere Relazione Geotecnica.
b) descrizione generale della struttura, sia in elevazione che in fondazione, e della tipologia di intervento, con indicazione delle destinazioni d’uso previste per la costruzione, dettagliate per ogni livello entro e fuori terra, e dei vincoli imposti dal progetto architettonico;	Vedere: p.to 3 “Descrizione generale e strutturale dell’opera”.
c) normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati, tra cui le eventuali prescrizioni sismiche contenute negli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;	Vedere p.to 3.6 “ Quadro normativo di riferimento adottato, norme di riferimento cogenti e altre norme e documenti tecnici integrativi”.
d) definizione dei parametri di progetto che concorrono alla definizione dell’azione sismica di base del sito (vita nominale - VN, classe d’uso, periodo di riferimento - VR, categoria del sottosuolo, categoria topografica, amplificazione topografica, zona sismica del sito, coordinate geografiche del sito), delle azioni considerate sulla costruzione e degli eventuali scenari di azioni eccezionali;	Vedere: p.to 3.4 “Condizioni d’uso e livelli di sicurezza della costruzione”; p.to 6.11 “Azione del sisma”.
e) descrizione dei materiali e dei prodotti per uso strutturale, dei requisiti di resistenza meccanica e di durabilitá considerati;	Vedere p.to 5 “Materiali strutturali”.
f) illustrazione dei criteri di progettazione e di modellazione: classe di duttilità - CD, regolarità in pianta ed in alzata, tipologia strutturale, fattore di struttura - q e relativa giustificazione, stati limite indagati, giunti di separazione fra strutture contigue, criteri per la valutazione degli elementi	Vedere: p.to 6.11 “Azione del sisma”; p.to 7 “Analisi strutturale”. Vedere Relazione Geologica;

<p>non strutturali e degli impianti, requisiti delle fondazioni e collegamenti tra fondazioni, vincolamenti interni e/o esterni, schemi statici adottati;</p>	<p>Vedere Relazione di calcolo delle fondazioni.</p>
<p>g) indicazione delle principali combinazioni delle azioni in relazione agli SLU e SLE indagati: coefficienti parziali per le azioni, coefficienti di combinazione;</p>	<p>Vedere p.to 6.12 “Combinazioni di carico”; Vedere Allegati</p>
<p>h) indicazione motivata del metodo di analisi seguito per l’esecuzione della stessa: analisi lineare o non lineare (precisazione del fattore $\Theta = P \cdot d/V \cdot h$), analisi statica o dinamica (periodo $T1 < 2.5TC$ o TD, regolarità in altezza). Nel dettaglio deve essere esplicitato se trattasi di:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ analisi lineare statica, ○ analisi lineare dinamica (numero di modi considerati e relative masse partecipanti), ○ analisi non lineare statica (distribuzioni di carico adottate e rapporti di sovraresistenza $\bullet \alpha u/\alpha 1$), ○ - analisi non lineare dinamica (accelerogrammi adottati), ○ - altro, <p>riportando la sintesi dei principali risultati;</p>	<p>Vedere Allegati.</p>
<p>i) criteri di verifica agli stati limite indagati, in presenza di azione sismica:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ stati limite ultimi, in termini di resistenza, di duttilità e di capacità di deformazione, ○ stati limite di esercizio, in termini di resistenza e di contenimento del danno agli elementi non strutturali; 	<p>p.to 7 “Analisi strutturale”.</p>
<p>j) rappresentazione delle configurazioni deformate e delle caratteristiche di sollecitazione delle strutture più significative, così come emergenti dai risultati dell’analisi, sintesi delle verifiche di sicurezza, e giudizio motivato di accettabilità dei risultati;</p>	<p>Vedere Allegati.</p>
<p>k) caratteristiche e affidabilità del codice di calcolo;</p>	<p>Vedere Allegato Z.</p>
<p>l) con riferimento alle strutture geotecniche o di fondazione: fasi di realizzazione dell’opera (se pertinenti), sintesi delle massime pressioni attese, cedimenti e spostamenti assoluti/differenziali, distorsioni angolari, verifiche di stabilità terreno-fondazione eseguite, ed altri aspetti e risultati significativi della progettazione di opere particolari;</p>	<p>Vedere Relazione di calcolo delle fondazioni.</p>

3 Descrizione generale e strutturale dell'opera

La presente relazione ha per oggetto la descrizione del progetto delle strutture metalliche della passerella ciclo-pedonale (e opere secondarie di accesso) sul Reno nel Comune di Sasso Marconi (località Fontana) e inserita nel tratto 4 "Casalecchio – Marzabotto " della "Ciclovia del Sole" (percorso Verona-Firenze).

Il progetto prevede la realizzazione di:

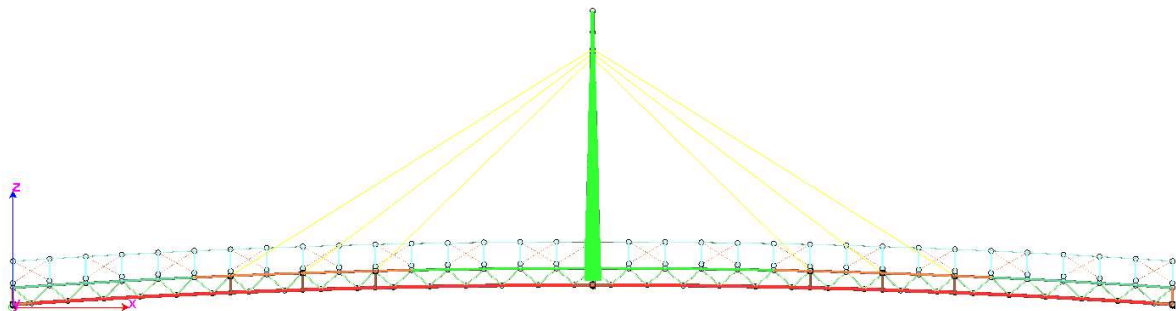
- un ponte di 3a categoria (ciclo-pedonale);
- una serie di rampe (In corrispondenza degli imbocchi del ponte).

Il percorso è progettato per il passaggio del solo traffico ciclo-pedonale (vedere p.to 6.4).

3.1 L'opera principale: il ponte

Il ponte ha 2 campate di lunghezza 40m circa ciascuna. La larghezza utile dell'impalcato è variabile da un minimo di 3m agli imbocchi ad un massimo di 4m in corrispondenza della pila centrale.

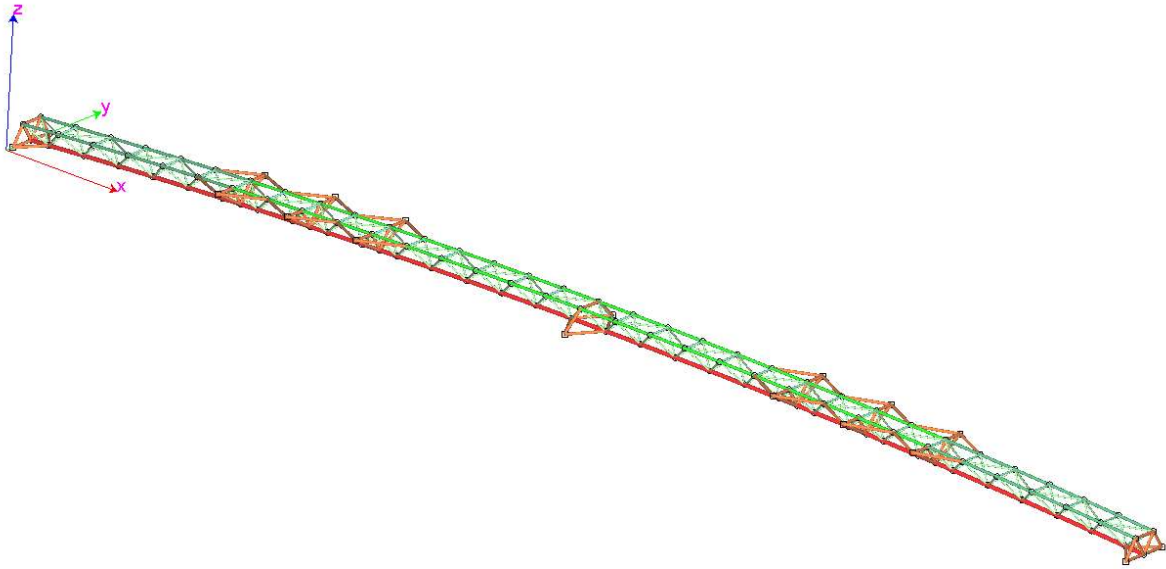
La struttura è costituita da una trave reticolare spaziale continua di lunghezza 80m formata da un corrente inferiore e due correnti superiori. Aste di parete diagonali collegano il corrente inferiore ai correnti superiori. Un sistema di controvento di falda formato da diagonali e traversi collega tra loro i due correnti superiori.



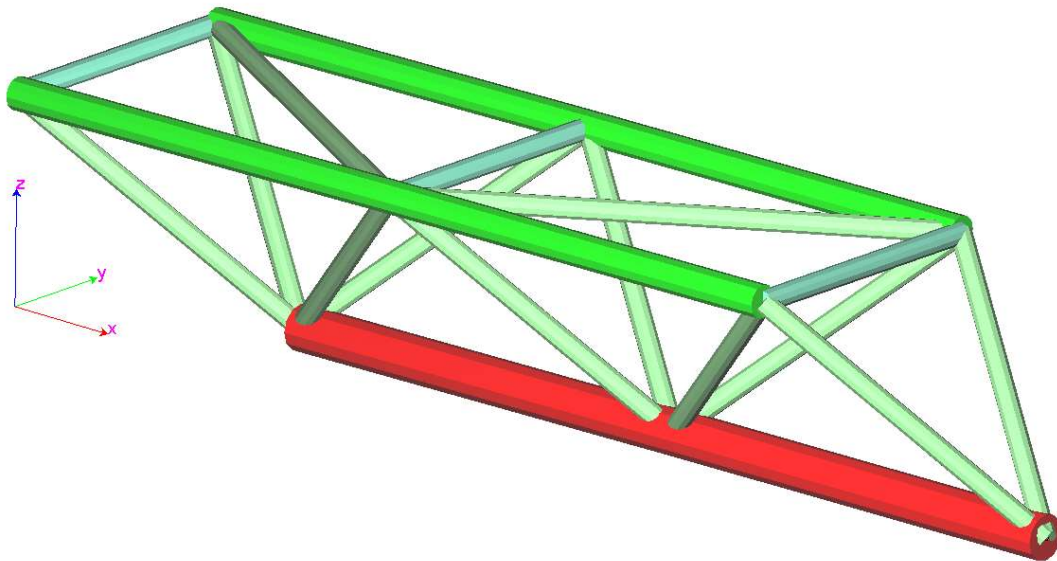
Prospetto struttura metallica

La trave reticolare spaziale ha un andamento planimetrico rettilineo e un andamento altimetrico arcuato con freccia centrale di 1.35cm circa. La sezione trasversale della trave reticolare spaziale è costante con altezza (asse-asse) di 1.15m e distanza reciproca di 1.5m tra i correnti superiori.

Le aste che compongono la reticolare spaziale sono in tubo circolare EN10219 (correnti superiori in CHS 177.8, corrente inferiore in CHS 244.5, diagonali e traversi in CHS 114.3) e collegate mediante connessione diretta saldata tubo su tubo. I nodi sono disposti con passo longitudinale di 2.5m.



Vista assometrica trave reticolare spaziale



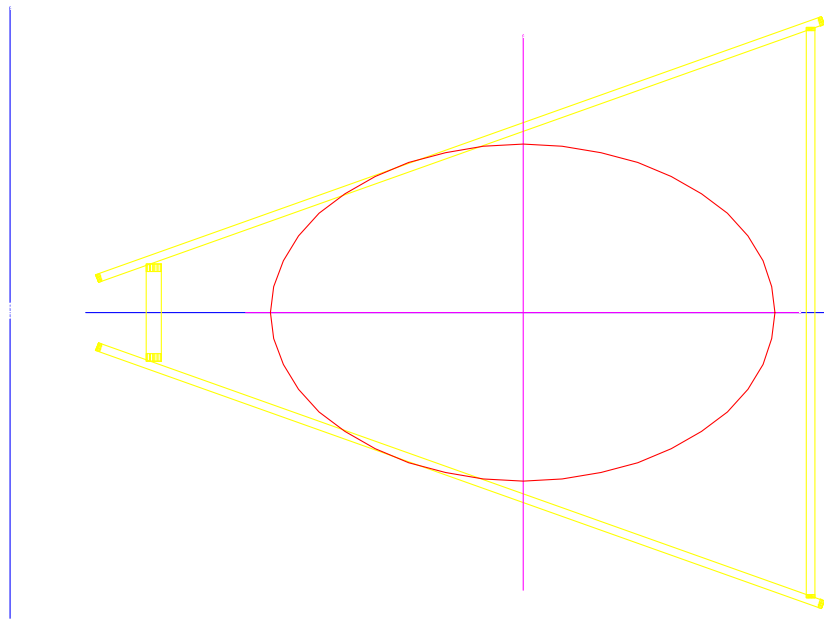
Modulo trave reticolare spaziale in tubi

In corrispondenza dei nodi di estradosso sono disposti i traversi in profilo aperto HEAA 180 che proseguono a sbalzo fino ad ottenere la larghezza locale dell’impalcato. Alle estremità di ciascun traverso sono collegati i montanti dei parapetti. Sui traversi è disposto l’impalcato formato da una soletta in lamiera grecata e cls

collaborante di altezza complessiva $55+55 = 110\text{mm}$. Su essa è posata il manto di calpestio. La soletta è collegata ai traversi metallici inferiori mediante connettori di tipo Hilti o equivalenti.

In corrispondenza della pila centrale spiccano due pennoni trasversali di lunghezza 19m e leggermente inclinati verso l'esterno (inclinazione di 12.5 deg circa rispetto la verticale). Ciascun pennone ancora due terne di stralli che si ancorano sul fianco dell'impalcato a circa metà di ciascuna campata.

I pennoni sono costituiti da cassoni metallici con sezione trapezoidale di ingombro via via decrescente con l'altezza (ingombro sezione di base: $1600\text{mm} \times 1200\text{mm}$ circa).



Concio di base del pennone

L'acciaio per carpenteria è previsto essere di classe S355.

Le funi sono di tipo spiroidale in acciaio ad alta resistenza e hanno diametro 32mm. Ciascuna fune è fornita di capocorda regolabile in corrispondenza degli attacchi all'impalcato. Le funi sono installate e sottoposte ad uno stato di presollecitazione al fine di conferire loro uno stato iniziale di trazione.

Le strutture di sostegno del sistema impalcato + pennoni sono costituite da una spalla in c.a. sinistra orografica e due pile in c.a., una centrale e l'altra in destra orografica. In corrispondenza delle strutture terminali sono disposti 2+2 dispositivi di appoggio verticale e 1+1 dispositivi di vincolo trasversale. In corrispondenza della pila centrale la trave reticolare si ancora al traverso in acciaio che collega le basi dei piloni. Il vincolo longitudinale è localizzato sulla spalla mentre in corrispondenza delle pile sono ammessi i movimenti longitudinali. Sulla pila destra è localizzato il giunto longitudinale.

In corrispondenza degli appoggi sulle strutture in c.a e degli agganci alle funi la trave reticolare spaziale è dotata di estensioni in tubo atte a collegarla efficacemente ai dispositivi di appoggio ed ai capicorda delle funi.

È stata prevista la possibilità di installare martinetti di servizio per il sollevamento del ponte per consentire la manutenzione/sostituzione degli apparecchi d'appoggio.

3.1.1 Tipologia nodi - Trave reticolare spaziale

La tipologia di nodo tipica prevista nel progetto per la trave reticolare spaziale è caratterizzata dalla saldatura diretta tra tubi circolari: le aste di parete (diagonali, traversi e diagonali di falda) vengono saldate sui correnti superiori ed inferiore in modo da realizzare in officina moduli di trave di lunghezza tale da poter essere trasportabili in cantiere.



Esempio di reticolo spaziale realizzato mediante tubi circolare saldati tra loro

I moduli saranno poi assemblati in cantiere in corrispondenza dei giunti longitudinali (posizione da definire in fase di redazione del progetto esecutivo) che potranno essere di tipo saldato o bullonato (flange o giunzioni a taglio ad attrito).



Esempio saldatura di testa per giunto di assemblaggio corrente inferiore

In corrispondenza dei nodi dove si concentrano le sollecitazioni (appoggi e attacchi degli stralli in fune) saranno previsti piatti di rinforzo atti a conferire al nodo una maggiore resistenza.



Esempio di nodo tra aste circolari con fazzoletti saldati



Esempio di nodo tra aste circolari e strallo

3.1.2 Tipologia nodi - Pennoni

Il nodo di sommità che collega il pennone agli stralli è ottenuto mediante piatto longitudinale passante saldato a cui si connettono i capicorda mediate collegamento a perno.



Esempio di connessione tra sommità pennone e stralli

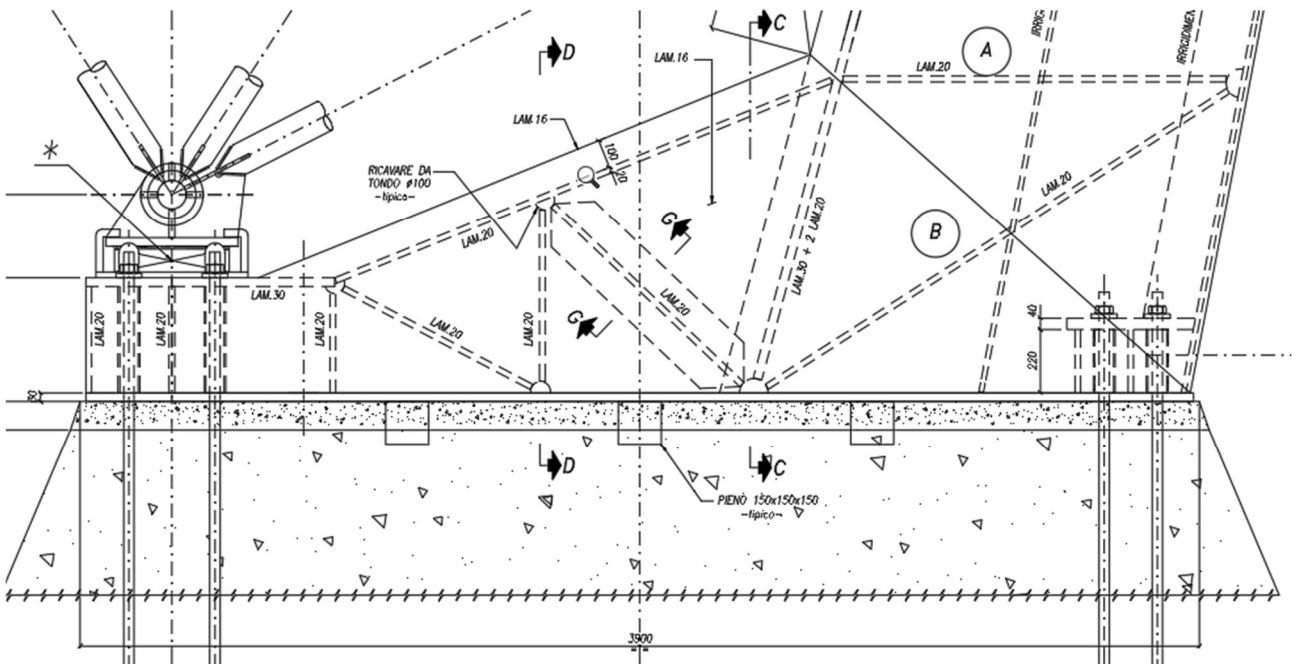
Le basi dei pennoni sono raccordate da un basamento in carpenteria metallica che si ancora alla testa in c.a. della pila mediante tirafondi in acciaio ad alta resistenza (tipo Macalloy o equivalenti), posizionati all'interno del cassone e raggiungibili mediante aperture temporanee laterali che andranno successivamente richiuse (vedere immagini seguenti).



Esempio di apertura temporanea sul fianco del cassone del cassone per serraggio tirafondi



Immagine che mostra la successiva chiusura delle aperture temporanee



Esempio di dettaglio di basamento con tirafondi interni

3.1.3 Il montaggio

I moduli di trave reticolare spaziale pre-assemblati in officina e di lunghezza tale da poter essere trasportati in cantiere vengono poi collegati tra loro fino a formare due campate di lunghezza 40m. Queste vengono sollevate e portate nella posizione finale, collocandole sugli appoggi definitivi in corrispondenza delle opere in c.a. terminali e su appoggi temporanei in corrispondenza della pila centrale dove avverrà la giunzione finale tra le due campate. Successivamente vengono installati gli stralli nella sommità del pennone, imboccati ai p.ti di ancoraggio in corrispondenza dell'impalcato e infine tesati.

Sui moduli di reticolare spaziale sono già presenti i traversi dell'impalcato. Una volta montata la passerella vengono posate le lamiere grecate e viene eseguito il getto di cls.



Esempio di montaggio

3.2 Le opere minori: le rampe di accesso

Agli imbocchi del ponte il percorso ciclo-pedonale prosegue secondo rampe formate da impalcati in c.a. appoggiati su travi longitudinali di bordo in acciaio, aventi larghezza di 3m e luce 5m e sostenuti da portali in c.a. di altezza variabile secondo la configurazione del terreno.

3.3 Opere in elevazione in c.a. e fondazioni

Vedere la Relazione di calcolo delle opere in cemento armato e relative fondazioni.

3.4 Condizioni d’uso e livelli di sicurezza della costruzione

3.4.1 Classe d’uso

L’opera é di nuova realizzazione. In accordo con la Committenza si assume, in accordo con il p. 2.4.1 NTC 2018:

Tipo di costruzione: Costruzione il cui uso prevede affollamenti significativi - Classe d’uso: II

Vita nominale di progetto: VN = 50 anni

3.4.2 Classe di esecuzione

Con riferimento alle normative UNI EN 1990 e UNI EN1993-1-1 si determina la classe di esecuzione.

- Classe di conseguenza: CC2

Classe di conseguenze	Descrizione	Esempi di edifici e di opere di ingegneria civile
CC3	Elevate conseguenze per perdita di vite umane, o conseguenze molto gravi in termini economici, sociali o ambientali	Gradinate in impianti sportivi, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono alte (per esempio, una sala concerti)
CC2	Conseguenze medie per perdita di vite umane, conseguenze considerevoli in termini economici, sociali o ambientali	Edifici residenziali e per uffici, edifici pubblici nei quali le conseguenze del collasso sono medie (per esempio un edificio per uffici)
CC1	Conseguenze basse per perdita di vite umane, e conseguenze modeste o trascurabili in termini economici, sociali o ambientali	Costruzioni agricole, nei quali generalmente nessuno entra (per esempio, i magazzini), serre

- Classe di esecuzione EXC2 in base alla tabella seguente:

Struttura progettata per azioni quasi-statiche e per azioni sismiche in zona sismica di bassa intensità.

Reliability Class (RC) or Consequences Class (CC)	Type of loading	
	Static, quasi-static or seismic DCL ^a	Fatigue ^b or seismic DCM or DCH ^a
RC3 or CC3	EXC3 ^c	EXC3 ^c
RC2 or CC2	EXC2	EXC3
RC1 or CC1	EXC1	EXC2

^a Seismic ductility classes are defined in EN 1998-1, Low=DCL; Medium = DCM; High = DCH
^b See EN 1993-1-9
^c EXC4 may be specified for structures with extreme consequences of structural failure

3.5 Descrizione generale dei criteri generali di progettazione, analisi e verifica

La tipologia strutturale prevista si pone gli obiettivi di conferire la necessaria rigidità e resistenza alle azioni di progetto ed in particolare all'azione sismica.

I carichi permanenti e le azioni verticali di origine antropica sono trasferiti dalla soletta ai traversi metallici e da questi ai nodi della trave reticolare spaziale. La trave è sostenuta direttamente in corrispondenza delle strutture in c.a. (spalla dx, pila centrale e pila laterale sx) ed indirettamente dagli stralli ancorati ai pennoni metallici.

Le azioni orizzontali indotte dal vento e dal sisma sono trasferite dalla soletta dell'impalcato e dalla trave reticolare spaziale ai vincoli collocati in testa delle strutture in c.a..

3.5.1 Considerazioni sulle possibili vibrazioni indotte dal vento e dal transito dei pedoni

La tipologia strutturale, la conseguente leggerezza ed il basso rapporto tra pesi permanenti e carichi portati, rendono questo tipo di ponti spesso sensibili all'eccitazione dinamica da parte dell'azione del vento e/o del transito dei pedoni.

L'entità delle conseguenti vibrazioni e la loro influenza sul confort degli utenti dell'opera (precisando che si tratta, comunque, di fenomeni che non minano la sicurezza strutturale) sono difficilmente prevedibili in fase di progetto. Infatti:

- a) lo smorzamento strutturale intrinseco (parametro alla base della determinazione della risposta dinamica), sebbene certamente modesto, può variare significativamente (tra lo 0,5 e il 2%, da esperienze su strutture simili in tal senso) e la sua esatta conoscenza può essere acquisita solo ad opera ultimata, mediante prove di caratterizzazione dinamica;
- b) l'eccitazione da parte dei pedoni dipende dalle effettive condizioni di esercizio (affollamento, condizioni di "marcia", etc.) ed è, ad oggi, un dibattuto tema di ricerca, essendo tutt'altro che consolidate le modalità di analisi e gli algoritmi per la definizione dell'input dinamico;
- c) ancora meno consolidate sono le modalità per la quantificazione della percezione del "disturbo"; l'esperienza mostra che, sulle strutture flessibili, moderate vibrazioni sono spesso percepite dagli utenti come del tutto "naturali" e non creano alcun tipo di disagio;
- d) relativamente all'azione aerodinamica ed aeroelastica del vento, infine, una sua più accurata determinazione avrebbe richiesto costose prove sperimentali in galleria del vento, non giustificabili in rapporto ai costi dell'intera opera.

Il problema può essere preliminarmente valutato attraverso la determinazione delle frequenze naturali della struttura e la successiva verifica che esse non ricadano all'interno di range indicati nella letteratura tecnica come critici nell'ambito dello sviluppo di vibrazioni e oscillazioni potenzialmente fastidiose.

Il problema poi può essere efficacemente affrontato nello spirito della "Progettazione assistita da prove", previsto esplicitamente dall'Eurocodice (UNI EN 1990 - Criteri generali di progettazione strutturale - 5.2 Design assisted by testing), che nel merito riporta quanto segue:

«(1) Design may be based on a combination of tests and calculations.

NOTE Testing may be carried out, for example, in the following circumstances :

- if adequate calculation models are not available ;
- if a large number of similar components are to be used ;
- to confirm by control checks assumptions made in the design.»

È evidente che, per quanto sopra esposto, nel caso in esame le prove potranno essere efficacemente condotte solo a lavori ultimati. Ciò non costituisce, peraltro, un problema, non essendo comunque interessata la sicurezza della costruzione. Pertanto, anche sulla base di esperienze analoghe dello scrivente, il problema delle possibili vibrazioni indotte dal vento e dal transito dei pedoni viene affrontato e, se necessario, risolto nelle seguenti fasi:

- i. in sede di progettazione esecutiva sarà prevista la possibilità di installare dispositivi di mitigazione delle vibrazioni; nello specifico, la soluzione più appropriata consisterebbe (sempre che se ne rilevi la necessità) nell'installazione di smorzatori a massa accordata (TMD – tuned mass dampers) all'intradosso dell'impalcato di calpestio e/o sulla sommità dei pennoni;
- ii. ad opera ultimata (possibilmente già in sede di collaudo) saranno eseguite prove di caratterizzazione dinamica volte alla misurazione del rapporto di smorzamento e delle esatte frequenze naturali dei modi di vibrare maggiormente significativi (parametri indispensabili per l'eventuale dimensionamento e calibrazione dei dispositivi);
- iii. nelle prime fasi di esercizio dell'opera si valuterà la risposta della struttura alle sollecitazioni dinamiche e, soprattutto, la conseguente percezione, in termini di confort, da parte degli utenti; se ritenuto opportuno, si potranno intergrare le valutazioni con una registrazione delle vibrazioni in condizioni di funzionamento reali;
- iv. infine, qualora se ne rilevasse la necessità, saranno progettati ed installati i dispositivi di mitigazione delle vibrazioni (TMD).

3.6 Quadro normativo di riferimento adottato, norme di riferimento cogenti e altre norme e documenti tecnici integrativi

Generale

- D.M. 17.1.2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018);
- Circolare n. 7, 21.1.2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- Legge Regionale 30 ottobre 2008 n. 19 – Norme per la riduzione del rischio sismico;
- Delibera della Giunta Regione Emilia Romagna GPG/2011/1474 del 26 settembre 2011;

Progettazione delle strutture – Eurocodici e Documenti di Applicazione Nazionale associati

- EN1991. “Basi della progettazione ed azioni sulle strutture”;
- EN1992. “Progettazione delle strutture di calcestruzzo”;
- EN1993-1-1 “Progettazione delle strutture di acciaio: regole generali e regole per gli edifici”;
- EN1993-1-8 “Progettazione delle strutture di acciaio: progettazione dei collegamenti”;
- EN1993-2 “Progettazione delle strutture di acciaio: ponti di acciaio”;
- EN 1994-1-1 Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo: regole generali e regole per gli edifici;
- EN1998-1-1. “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”.

Progettazione delle strutture –Documenti CNR

- CNR-DT-207-R1-2018 “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”.

Linee guida per l’analisi delle vibrazioni nelle passerelle pedonali

- Hivoss “Human induced vibrations of steel structures” – RFS2-CT-2007-00033 – Design of footbridges – Guideline.

Altri documenti/relazioni progettuali

- Relazione idrologica e idraulica – Elaborato REL-2-1.
- Relazione geologica, geotecnica e sismica – Elaborato REL-3-1.
- Relazione di calcolo delle opere in cemento armato e relative fondazioni – Elaborato REL-5-4.

4 Note generali

- 1) L'Appaltatore deve attenersi a quanto previsto dai documenti contrattuali, modifiche e/o varianti sono attuabili se non dopo previa approvazione del Cliente e del Progettista.
- 2) Tutti gli elaborati grafici devono essere interpretati insieme al progetto architettonico, impiantistico ed alle specifiche di capitolato. Qualsiasi incongruenza riscontrata deve essere esplicitamente riportata per iscritto ai progettisti.
- 3) Per le finiture e le forometrie verificare anche sui disegni architettonici e impiantistici.
- 4) Non scalare i disegni per dedurre informazioni dimensionali.
- 5) Verificare la corrispondenza tra ciascuna quota numerica e la dimensione grafica dell'oggetto associato ed, in caso di discordanza, effettuare le necessarie controverifiche, assumendo come regola generale la prevalenza gerarchica della prima sulla seconda.
- 6) La struttura è progettata per essere fruibile nella sua configurazione finale interamente eretta. È responsabilità unica dell'Appaltatore di assicurare la sicurezza e la stabilità dell'opera e delle sue parti componenti durante le fasi costruttive del progetto.
- 7) In qualsiasi momento l'Appaltatore è il solo responsabile per le condizioni di cantiere, incluse la sicurezza delle persone e delle proprietà.
- 8) L'Appaltatore è il solo responsabile della protezione delle strutture esistenti adiacenti. Se durante demolizioni, scavi o costruzioni, le attuali condizioni risultino differenti da quanto riportato negli elaborati di progetto, ciò deve essere riportato al progettista.
- 9) L'Appaltatore dovrà garantire la stabilità delle strutture durante il sollevamento, il montaggio e in fase di getto e maturazione delle strutture in c.a. mediante opportune strutture provvisorie di sostegno o controvento.
- 10) Le fasi di sollevamento e montaggio e le strutture provvisorie dovranno essere sottoposte alla preventiva approvazione della D.L.
- 11) Dimensioni e posizioni di strutture esistenti riportate negli elaborati devono essere verificate da rilievi in situ e ogni incongruenza deve essere riportata al Progettista.
- 12) Tutte le forniture di materiali e componenti strutturali devono essere accompagnate dalla documentazione comprovante la provenienza, il controllo, la qualificazione e la certificazione dei materiali. Tale documentazione dovrà essere trasmessa alla D.L. prima della messa in opera delle strutture.
- 13) Il progetto esecutivo sarà soggetto a controllo della compatibilità geometrica del sistema strutturale, degli elementi, dei collegamenti bullonati e saldati, dei nodi in c.a..
- 14) Tolleranze dimensionali, costruttive, di fabbricazione e montaggio in accordo con le prescrizioni di uni EN 1090 e UNI EN 13670.
- 15) E' onere dell'Appaltatore la predisposizione dei disegni costruttivi, da sottoporre ad approvazione della D.L., riguardanti gli attacchi sugli elementi strutturali per elementi di baraccatura, per finiture (infissi, parapetti, tamponamenti, ecc.) e per impianti.

- 16) Lo sviluppo e dimensionamento costruttivo dei particolari, dei collegamenti e delle connessioni sono a carico del costruttore dell'opera tenendo conto della concezione progettuale.
- 17) Non possono essere previsti fori negli elementi strutturali se non quelli esplicitamente riportati negli elaborati strutturali o approvati dal Progettista.
- 18) Gli elaborati costruttivi saranno soggetti ad approvazione della D.L. prima dell'inizio della produzione.
- 19) L'Appaltatore dovrà sottoporre alla preventiva approvazione della D.L. le procedure di realizzazione delle strutture in c.a. in elevazione e le tolleranze di verticalità conseguibili.
- 20) L'Appaltatore dovrà individuare e valutare le eventuali riprese di getto necessarie ed adottare le procedure atte a garantirne la realizzazione ad opera d'arte.
- 21) Nelle tavole di armatura non sono indicate le armature necessarie per il confezionamento delle gabbie.
- 22) L'adattamento degli schemi tipici di armatura in corrispondenza dei fori non indicati nelle tavole è a cura della D.L.
- 23) Le fasi dei getti, le procedure di getto e maturazione, unitamente agli additivi utilizzati per la preparazione del calcestruzzo devono essere tali da minimizzare la di fessurazione dovuta a ritiro.
- 24) Il progetto esecutivo delle parti prefabbricate è a carico del fornitore tenuto conto delle specifiche di progetto riportate nella relazione tecnica delle strutture. Se le carpenterie delle parti prefabbricate dovessero essere modificate, la necessaria ri-verifica in termini di compatibilità geometrica e meccanico-strutturale con le restanti parti del progetto è a carico dell'Appaltatore.

5 Materiali strutturali

5.1 Calcestruzzo

A ciascuna tipologia di elemento sono state associate la classe di esposizione (in accordo con le definizioni della norma UNI EN 206-1) e la classe di resistenza del calcestruzzo (scelta coerentemente con le classi definite dalle NTC 2018).

Calcestruzzi a “Prestazione garantita” conformi alle norme:

- UNI-EN 206:2016
- UNI 11104:2016
- UNI-EN 1992-1-1:2005 (EC2)

5.1.1 Classi di esposizione del cls delle strutture di fondazione e di elevazione

Vedere la Relazione di calcolo delle opere in cemento armato e relative fondazioni.

Per le strutture di elevazione si assume (NTC 2018 Tab. 4.1.III e EN 206):

	Classe di esposizione	Condizioni ambientali
Strutture in elevazione protette	XC4: Ambiente con cicli alternati di bagnato/asciutto (Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzo a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l’acqua non compresa nella classe XC2).	Ordinarie

5.1.2 Caratteristiche dei calcestruzzi a prestazione garantita

Calcestruzzo non armato per sottofondazioni

Conglomerato cementizio per pali di fondazione

Conglomerato cementizio per strutture di fondazione gettate in opera

Relazione di calcolo delle opere in cemento armato e relative fondazioni.

Conglomerato cementizio per soletta impalcato

Classe di resistenza: C32/40 con valore caratteristico minimo della resistenza cilindrica a compressione dopo 28 giorni $f_{ck} \geq 32$ MPa

Classe di consistenza: S5

Classe di esposizione: XC4

Dimensione massima nominale dell’aggregato: 8mm

Getti di completamento sotto le piastre di base dei pennoni

Si specifica l'impiego di malta di completamento tipo BASF MasterFlow 9200 (o equivalente) con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Mechanical properties:				
Compressive strength (40 x 40 x 160 mm prisms – EN 12190)	N/mm ²	20°C	30°C	2°C
- after 1 day		≥ 55	≥ 70	≥ 3
- after 7 days		≥ 80	≥ 90	≥ 60
- after 28 days		≥ 110	≥ 120	≥ 90
Flexural strength (40 x 40 x 160 mm prisms – EN196-1)	N/mm ²	≥ 14		
Tensile splitting strength (EN12390-6)	N/mm ²	≥ 8		
Static modulus of elasticity (EN 13412)	GPa	≥ 40		
Capillary water absorption (EN 13057)	kg / m ² .h ^{-0.5}	≤ 0.05		
Drying shrinkage (EN 12617-4)	mm/m	≤ 0.3		
Crack resistance - Coutinho-ring		no cracking after 180 days		
Adhesion strength to concrete (EN 1542)	N/mm ²	≥ 2		
Adhesion strength after freeze/thaw (EN 13687-1)	N/mm ²	≥ 2		
Pull-out strength of rebar (EN 1881) displacement at 75kN load	mm	≤ 0.6		

5.1.3 Copriferrì

La determinazione del copriferro viene effettuata in conformità alle prescrizioni NTC2008 e EN1992-1-1 (copriferrì per aderenza e durabilità):

Per le strutture di fondazione:

Vedere la Relazione di calcolo delle opere in cemento armato e relative fondazioni.

Per le strutture in elevazione:

Copriferrì per aderenza e durabilità (NTC2008, EN1992-1-1)

Considerando una tolleranza di posa di 10 mm si ottiene:

Elemento	Cls	Copriferrì	Valore richiesto
Armatura soletta	C32/40	max(30mm, $\phi b + 10\text{mm}$)	30mm

ϕb = diametro barra armatura

5.1.4 Assunzioni in tema di verifiche di fessurazione

Ai soli fini dei calcoli di apertura delle fessure:

- 1) gli effetti delle sollecitazioni meccaniche non vanno combinati con quelli di altri fattori (calore di idratazione, ritiro, ecc.);
- 2) il copriferro da assumere é quello minimo teorico secondo l'aggressività dell'ambiente (quest'ultimo definito coerentemente con le caratteristiche dei cls previsti);
- 3) l'apertura di fessura misurata va rilevata al filo dei copriferri teorici (se non misurabile va ricavata con considerazioni geometriche rispetto a quella misurabile a filo del copriferro effettivo).

Alla luce di quanto appena esposto si assume la seguente tabella dei

VALORI AMMESSI DI APERTURA FESSURE:

Validi per armature poco sensibili ai sensi del p.to 4.1.2.2.4.3 delle NTC 2018

Condizione ambientale	Comb. di carico SLE	w _{lim} adottato [mm] e riferito al copriferro minimo teorico
Ordinaria	Quasi Permanente	w ₂ = 0.30
	Frequente	w ₃ = 0.40

5.2 Acciaio in barre d'armatura per conglomerato cementizio armato

Barre longitudinali, staffe, spezzoni: B450C saldabile

Classe acciaio	f _{yk}	f _{tk}	E _s	(f _y /f _{y,nom}) _k	k = (f _t /f _y) _k	σ _{s,Rara}	Diametro minimo mandrino di piegatura	
	[MPa]	[MPa]	[MPa]		[MPa]	[MPa]	Φ ≤ 16mm	Φ > 16mm
B450C	450.00	540.00	210'000	≤ 1.25	1.15 - 1.35	360.00	4Φ	7Φ

5.3 Acciaio per carpenteria metallica

Temperatura minima di servizio TEd:

Tmd (z=0m) = -15° (rif. NTC 2018 p.to 3.5.2 e Appendice nazionale UNI-EN 1991-1-5 Mappa delle temperature minime all'ombra a livello del mare).

5.3.1 Acciaio da carpenteria

Profili aperti laminati a caldo secondo EN 10034 e EN 10025

S355 con valore caratteristico minimo della tensione a snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$

Designazione europea: EN 10210-S 355

Definizione della sotto-classe/grado

Il grado J dell'acciaio va determinato in funzione della presenza o meno di saldature, dello spessore dei piatti saldati e della temperatura minima di servizio.

Facendo riferimento a EN1993-1-10 ed alla tabella 2.1, assumendo

- TEd = - 15° per strutture non protette.
- $\sigma_{Ed} = 0.25 f_y(t)$ per strutture compresse
- $\sigma_{Ed} = 0.75 f_y(t)$ per le altre strutture

prospetto 2.1 Massimi valori ammissibili dello spessore dell'elemento t in millimetri

Classe di acciaio	Sotto-classe	Energia della prova di Charpy KV alla temperatura T [°C]	J _{min}	Temperatura di riferimento T _{Ed} [°C]																				
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
				$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$						
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	10	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100

Per spessori fino a 35mm si assume grado J0.

5.3.2 Acciaio per tirafondi

Se non specificato nelle singole tavole:

Acciaio da carpenteria secondo EN 10025:

S355 con valore caratteristico minimo della tensione a snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$

Designazione europea: EN 10210-S 355 J0

Nel dimensionamento dei tirafondi ottenuti da barre in acciaio S355 si é assunto a favor di sicurezza una penalizzazione del 15% della resistenza a trazione in accordo con EN1993-1-8 p.to 3.6.1(3) (penalizzazione richiesta quando la filettatura non é conforme a EN 1990).

Barre in acciaio ad alta resistenza tipo Macalloy 1030 (o equivalenti)

Tensione ultima di rottura: 1030 N/mm²

Tensione corrispondente allo 0.1% di deformazione: 835 N/mm²

(vedere tabella successiva)

Tabella 2: proprietà meccaniche

Grado	Massima resistenza alla trazione nominale	Limite elastico nominale allo 0,1%	Allungamento minimo	Modulo elastico approssimativo
	N/mm ²	N/mm ²	%	kN/mm ²
Macalloy 1030 25-40mm	1030	835	6	170*
Macalloy 1030 50-75mm	1030	835	6	205
Macalloy S1030	1030	835	10	185

*Modulo secante di elasticità nell'intervallo 5 - 70% SLU

Tabella 3: carichi caratteristici

Diametro nominale	Carico di rottura		Carico di prova a 0,1%	
	Macalloy 1030	Macalloy S1030	Macalloy 1030	Macalloy S1030
mm	kN	kN	kN	kN
20	-	323	-	262
25	506	506	410	410
26.5	569	-	460	-
32	828	828	670	670
36	1049	-	850	-
40	1295	1295	1050	1050
50	2022	2022	1639	1639
75	4311	-	3495	-

5.3.3 Acciaio per perni

Acciaio 30 CrNiMo 8 secondo EN 10083:

valore caratteristico minimo della tensione a snervamento $f_{yk} \geq 700 \text{ N/mm}^2$

valore caratteristico minimo della tensione a rottura $f_{uk} \geq 900 \text{ N/mm}^2$

5.3.4 Bulloni

Collegamenti bullonati secondo UNI EN ISO 4016:2002

Bulloni “non a serraggio controllato”:

In accordo con UNI EN 15048-1 e p.to 11.3.4.6.1 NTC 2018:

viti classe 8.8 e 10.9 (UNI EN ISO 898-1:2013)

dadi classe 8 e classe 10 (UNI EN 898-2:2012)

rondelle acciaio C50 temperato e rinvenuto HRC 32-40 (UNI EN 10083-2:2006)

Bulloni “a serraggio controllato”:

In accordo con UNI EN 14399-1 e p.to 11.3.4.6.2 NTC 2018:

viti classe 8.8 e 10.9 (UNI EN 14399-1, 14399-3 e 14399-4)

dadi classe 8 e 10 (UNI EN 14399-3,14399-4)

rondelle durezza 300-370 HV (UNI EN 14399 parti 5 e 6)

Coppie di serraggio secondo D.M. 09/01/1996 e D.M. 14/01/2008

I bulloni devono essere montati con una rosetta sotto la testa della vite e una rosetta sotto il dado.

I bulloni dovranno essere contrassegnati con le indicazioni del produttore e la classe di resistenza.

I bulloni disposti verticalmente avranno la testa della vite rivolta verso l'alto e il dado verso il basso.

5.3.5 Saldature e processi di saldatura

Si veda NTC 2018 p.to 11.3.4.5.

Con riferimento alla Tab. il Costruttore deve essere certificato secondo la norma UNI EN ISO 3824:2006 parti 2,3 e 4 con i requisiti richiesti per il riferimento C della Tab. 11.3.XII

5.3.6 Protezione dalla corrosione

I profili chiusi a cassone devono avere le saldature continue tali da impedire le infiltrazioni di acqua (air and water tight) e quindi la formazione di un ambiente umido favorevole allo sviluppo di fenomeni corrosivi non controllabili.

Protezione dalla corrosione mediante zincatura a caldo, secondo UNI 5744 o ciclo di verniciatura secondo specifiche di capitolato.

Categoria ambientale (UNI EN ISO 14713): C2/C3;

Rischio di corrosione: Basso/Medio

Velocità di corrosione: da 0.1 a 2 $\mu\text{mmZn}/\text{anno}$;

Prevedere intagli e/o fori nella opere di carpenteria metallica per permettere il drenaggio durante le operazioni di zincatura.

La tabella seguente, estratta da UNI EN ISO 14713, definisce l'applicazione e lo spessore medio del rivestimento zincato in funzione della frequenza di manutenzione.

c) Categoria di corrosività C3 (esterno) (tasso di corrosione dello zinco solitamente da 0,7 $\mu\text{m}/\text{anno}$ a 2 $\mu\text{m}/\text{anno}$, oppure da 5 $\text{g}/\text{m}^2/\text{anno}$ a 15 $\text{g}/\text{m}^2/\text{anno}$ per lunghe esposizioni).			
Durata tipica fino alla prima manutenzione Anni	Descrizione generale e applicazione	Spessore medio del rivestimento su ciascuna superficie μm (minimo)	Note (al termine del prospetto 2)
Molto lunga (≥ 20)	Zincatura per immersione a caldo conforme alla ISO 1461	da 45 a 85 ^{a)}	1, 2, 3, 4
	Alluminio sigillato conforme alla ISO 2063	100	4, 5, 6
	Alluminio a spruzzo, sigillato o non sigillato conforme alla ISO 2063	100	1, 4, 5, 6
	Tubo zincato per immersione a caldo (per esempio, conforme alla EN 10240)	da 45 a 55 ^{a)}	1, 2, 3, 4
Lungo (da 10 a < 20)	Come sopra oppure: Tubo zincato per immersione a caldo (per esempio, conforme alla EN 10240)	25	1, 2, 3, 4, 9
	Zincatura per immersione a caldo conforme alla ISO 1461	25	1, 2, 3, 4, 9
Medio (da 5 a < 10)	Come sopra, oppure: Lamiera zincata per immersione a caldo Z275 (vedere EN 10142 o EN 10147 o ISO 4998): lamiera zincata formata a freddo	20	1, 9
	Acciaio zincato per elettrodeposizione (in genere)	20	1, 9
Corto (< 5)	Come sopra		

Protezione alla corrosione mediante ciclo di verniciatura:

- 1) il sistema di verniciatura protettivo da adottare deve essere in accordo con uni en iso 12944-5:2019 sulla base della classe di corrosività atmosferica del sito e della durabilità richiesta del sistema di verniciatura;
- 2) con riferimento alla tabella 1 di UNI EN ISO 12944-2:2018, la classe di di corrosività atmosferica è assunta pari a "c3 media" (strutture in acciaio esposte);
- 3) la classe di durabilità del sistema di verniciatura protettivo è assunta pari ad "alta" (da 15 a 25 anni) in accordo con il par. 5.5 di UNI EN ISO 12944-1:2018;
- 4) il primer d'officina deve essere compatibile con il sistema di verniciatura adottato in accordo con le tabelle b.1 and table b.2 di UNI EN ISO 12944-5:2019;
- 5) il livello di degrado della verniciatura prima del primo importante intervento di manutenzione deve essere concordato fra le parti interessate e deve essere stabilito in conformità alle parti da 1 a 5 della ISO 4628, se non diversamente concordato.

5.3.7 Resilienza del materiale e proprietà attraverso lo spessore - Classe dell'acciaio da carpenteria (valore Z)

In accordo con EN1991-1-10 p. 3.1, tavola 3.1 si assume classe 1.

Nella selezione degli assemblaggi o connessioni di acciaio, per la protezione contro lo strappo lamellare si raccomanda di considerare i seguenti aspetti:

- l'importanza della posizione in termini di tensione di trazione applicata e il grado di ridondanza;
- la deformazione nella direzione che attraversa lo spessore nell'elemento in cui è fatta la connessione. Questa deformazione è dovuta al ritiro del metallo della saldatura prodotto dal raffreddamento. Essa si incrementa molto dove gli spostamenti sono impediti da altre porzioni della struttura;
- la natura del particolare costruttivo del collegamento, in particolare collegamenti saldati a croce, a T e collegamenti d'angolo.
- proprietà chimiche del materiale sollecitato trasversalmente. In particolare, elevati livelli di zolfo, anche se inferiori ai normali limiti forniti delle norme di prodotto per acciai, possono incrementare lo strappo lamellare.

Si raccomanda che la suscettibilità del materiale sia determinata misurando la qualità della "duttilità attraverso lo spessore" secondo la EN 10164, che è espressa in termini di classi di qualità identificate da valori Z.

Una linea guida per evitare lo strappo lamellare durante la saldatura è fornita nella EN 1011-2.

Per i dettagli suscettibili di produrre tensioni di trazione applicate e/o indotte nella direzione dello spessore del materiale, la qualità dell'acciaio (valore Z) deve essere definita in accordo con le reali ipotesi di fabbricazione definite nel progetto costruttivo e dei disegni d'officina elaborati dal Fornitore della carpenteria metallica.

5.4 Lamiere grecate

Per lamiere collaboranti tipo Hi-Bond

Acciaio zincato tipo S280GD UNI EN 10346:2009

carico di rottura a trazione $\geq 360 \text{ N/mm}^2$

carico caratteristico di snervamento $\geq 280 \text{ N/mm}^2$

5.5 Connettori lamiera grecata-cls

Tipo Hilti x-hvb (o equivalenti) in acciaio al carbonio carico di rottura a trazione = 295-350 N/mm²

zincatura: spessore minimo 3mm

5.6 Funi

Le funi chiuse sono costituite da fili di acciaio ad alta resistenza zincati a caldo.

Marcatura e lunghezza di taglio a 15°. i cavi sono misurati e marcati sotto la forza specificata.

Tolleranza di marcatura $\pm 2\text{mm}$

Tolleranza di sistema $\pm 5\text{mm}$

La zincatura e la duttilità dei fili sono in accordo con le EN-10264 classe a o altri standard richiesti.

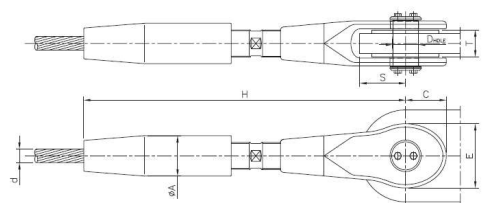
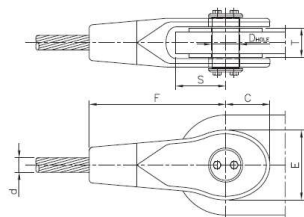
Le caratteristiche principali di resistenza e della protezione anticorrosione dei fili sono conformi alla EN 12385-10.

Resistenza del filo post-zincatura	1570 mpa min.
$r_{p0,2}$	1180 mpa min.
Allungamento dopo rottura	4% min. su una lunghezza di 250mm
Duttilità del filo	EN-10264
Zincatura	EN-10264 (classe a)
Modulo di elasticità nominale E	163 000 MPa

Tipologie dei capicorda:

estremità superiore: capocorda a forcella;

estremità inferiore: capocorda a forcella regolabile.



Da prevedere un'adeguata protezione con lega di zinco/alluminio (i.e. composizione 95% zinco e 5% addizionale di alluminio) per funi ad alta resistenza in carbonio per garantire una vita di progetto di 50 anni.

Può essere adottata una protezione anticorrosione alternativa a quella di progetto purchè ufficialmente sottoposta ad un controllo in termini di durabilità.

La prestiratura è necessaria per rimuovere la deformazione iniziale elastica e per stabilizzare il modulo elastico del trefolo.

La prestiratura è eseguita con 5 o più cicli dal 10% al 50-60% della forza minima di rottura; dopo l'ultimo ciclo la forza viene mantenuta al valore massimo per un intervallo di tempo più lungo e poi regolata sul valore richiesto per la misurazione.

5.7 Apparecchi d'appoggio

Gli apparecchi d'appoggio sono previsti in corrispondenza degli imbocchi della passerella. Ad essi è assegnata la sola funzione di vincolo verticale essendo quella di vincolo orizzontale demandata a dettagli di ancoraggio in carpenteria metallica separati.

Per le caratteristiche richieste

Portata massima SLU: 300 kN

Spostamento massimo SLU: 100mm

Rotazione massima SLU: 1.6 deg.

possono essere previsti alternativamente

Apparecchi d'appoggio tipo "FIP – Vasoflon multidirezionale VM 50/100/50" (o equivalenti)

Dispositivi realizzati in carpenteria metallica come cilindri / bielle.

6 Analisi dei carichi

6.1 Vita nominale dell'opera

Si assume vita nominale V_N : 50 anni

6.2 Aree di riferimento

Superficie calpestabile della passerella = 294 m²

Superficie fronte passerella = 120 m²

6.3 Carichi permanenti

6.3.1 Pesì propri degli elementi strutturali

Il peso proprio degli elementi strutturali é assunto pari al loro volume e peso specifico corrispondente.

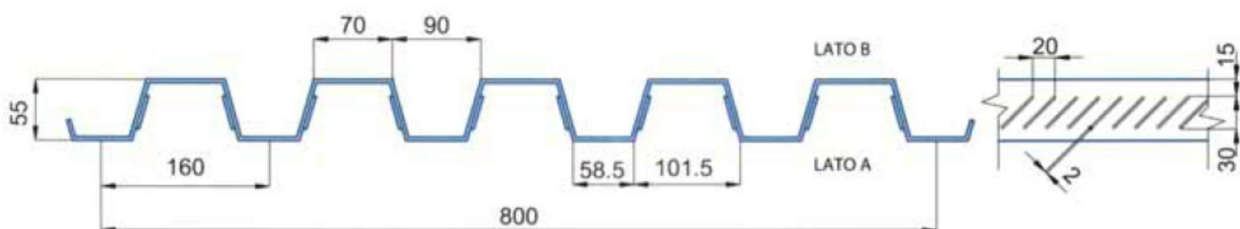
Per gli elementi in c.a. si assume $\gamma = 25.00$ kN/m³.

Per gli elementi in acciaio si assume $\gamma = 78.50$ kN/m³.

6.3.2 Carichi permanenti portati

Voce	Descrizione	Valore	Riferimento
Manto di calpestio e passaggi impiantistici		0.70 kN/m ²	Superficie calpestio
Soletta mista lamiera grecata e cls collaborante (passerella principale)	Tipo HEDAR HS 5580/6 sp.10/10mm, soletta sp.55mm. Altezza totale 110mm	2.06 kN/m ²	Superficie calpestio
Solaio tipo Predalle (rampe principale)	Altezza: 50 + 190 + 60 = 300mm	5.40 kN/m ²	Superficie calpestio
Parapetto		0.50 kN/m ²	Superficie parapetto

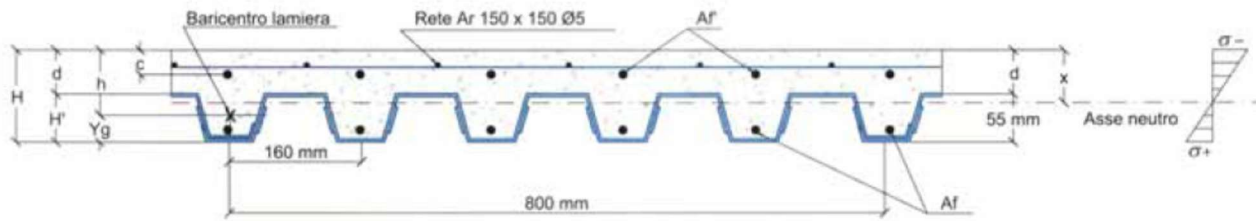
LAMIERA GRECATA HS 5580/6



SV. 1250 mm

Fig. 4

LAMIERA GRECATA HS 5580/6 E CLS - H = 11 CM



6.4 Carichi variabili per ponti di 3° categoria

Rif.: p.ti 5.1.3.3.3 e 5.1.3.3.5 NTC 2018

Schema di carico 5: folla compatta

- intensità nominale compressiva di degli effetti dinamici : $Q_k = 5.00 \text{ kN/m}^2$
- valore di combinazione: $\psi_0 Q_k = 2.50 \text{ kN/m}^2$ da cui $\psi_0 = 0.5$

Carico complessivo: $5.00 \text{ kN/m}^2 \times 294 \text{ m}^2 = 1470 \text{ kN}$

Schema di carico 4: carico isolato

- carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0.10m.

Schema di carico: veicolo per operazioni di soccorso e/o manutenzione:

si ipotizza il passaggio a bassa velocità e non in concomitanza con la folla di un mezzo a 4 ruote con:

- posizione in asse ponte
- passo longitudinale $\geq 2.50\text{m}$
- passo trasversale $\geq 1.30\text{m}$
- impronta ruota: 200mm x 200mm
- carico ruota: 17 kN

Azione orizzontale sui parapetti:

Rif.: p.to 5.1.3.10 NTC 2018

1.50 kN/m applicata al corrimano (altezza non inferiore a 1.10m).

6.5 Azione convenzionale longitudinale

Si assume una azione convenzionale longitudinale pari al 10% dell'azione della folla, uniformemente distribuita sull'impalcato.

6.6 Azione della neve

Definizione geografica del sito		
altitudine a_s [m]	100	OK
Provincia	Bologna	
Zona	Zona I - Mediterranea	
Valore caratteristico q_{sk} [kN/m ²] con $T_r = 50$ anni	1.50	
Periodo di ritorno T_r [anni] (≥ 5)	50	--
Coeff. variazione serie massimi annuali V [0.2-0.6]	0.4	EN1991-1-3 app.D
Coeff. periodo di ritorno α_{Rn}	1.00	EN1991-1-3 app.D
$q_{ref}(T_r) = \alpha_{Rn} \times q_{sk}$ [kN/m ²]	1.50	
Coefficiente interazione termico C_t (1.0)	1.0	
Esposizione	Zona normale	
Coefficiente di esposizione C_E	1.00	
Coefficiente termico C_t (1.0)	1.0	
Carico neve q (per $\mu = 1.00$) [kN/m²]	1.50	

Coefficiente di forma: $\mu = 0.8$

Valore caratteristico del carico neve sull'impalcato: $q_{sk} = \mu q = 0.8 \times 1.50 \text{ kN/m}^2 = 1.20 \text{ kN/m}^2$

Con rif. al p.to 5.1.3.7 NTC 2018 l'azione della neve non è concomitante con quello della folla.

6.7 Azioni idrodinamiche

Vedere la Relazione di calcolo delle opere in c.a. e relative fondazioni.

6.8 Spinta delle terre

Vedere la Relazione di calcolo delle opere in c.a. e relative fondazioni.

6.9 Azioni della temperatura

Temperatura minima dell'aria esterna:

Test_min ($z=0m$) = -15°C (rif. NTC 2018 p.to 3.5.2 e Appendice nazionale UNI-EN 1991-1-5 Mappa delle temperature minime all'ombra a livello del mare).

Temperatura massima dell'aria esterna:

Test_max ($z=0m$) = $+42^\circ\text{C}$ (rif. NTC 2018 p.to 3.5.2 e Appendice nazionale UNI-EN 1991-1-5 Mappa delle temperature minime all'ombra a livello del mare).

Incremento della temperatura per il contributo dell'irraggiamento solare:

$\Delta T_{irr} = +30^\circ\text{C}$ (rif. NTC 2018 p.to 3.5.2, superfici chiare, esposte a Sud-Ovest e orizzontali)

Range delle temperature minima e massima della struttura:

$$T_{min} = -15^{\circ}\text{C}$$

$$T_{max} = +42^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C} = 72^{\circ}\text{C}$$

Valore caratteristico della variazione termica: assumendo $T_{iniziale} = +15^{\circ}\text{C}$

$$\Delta T_{+} = +72^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = +57^{\circ}\text{C}$$

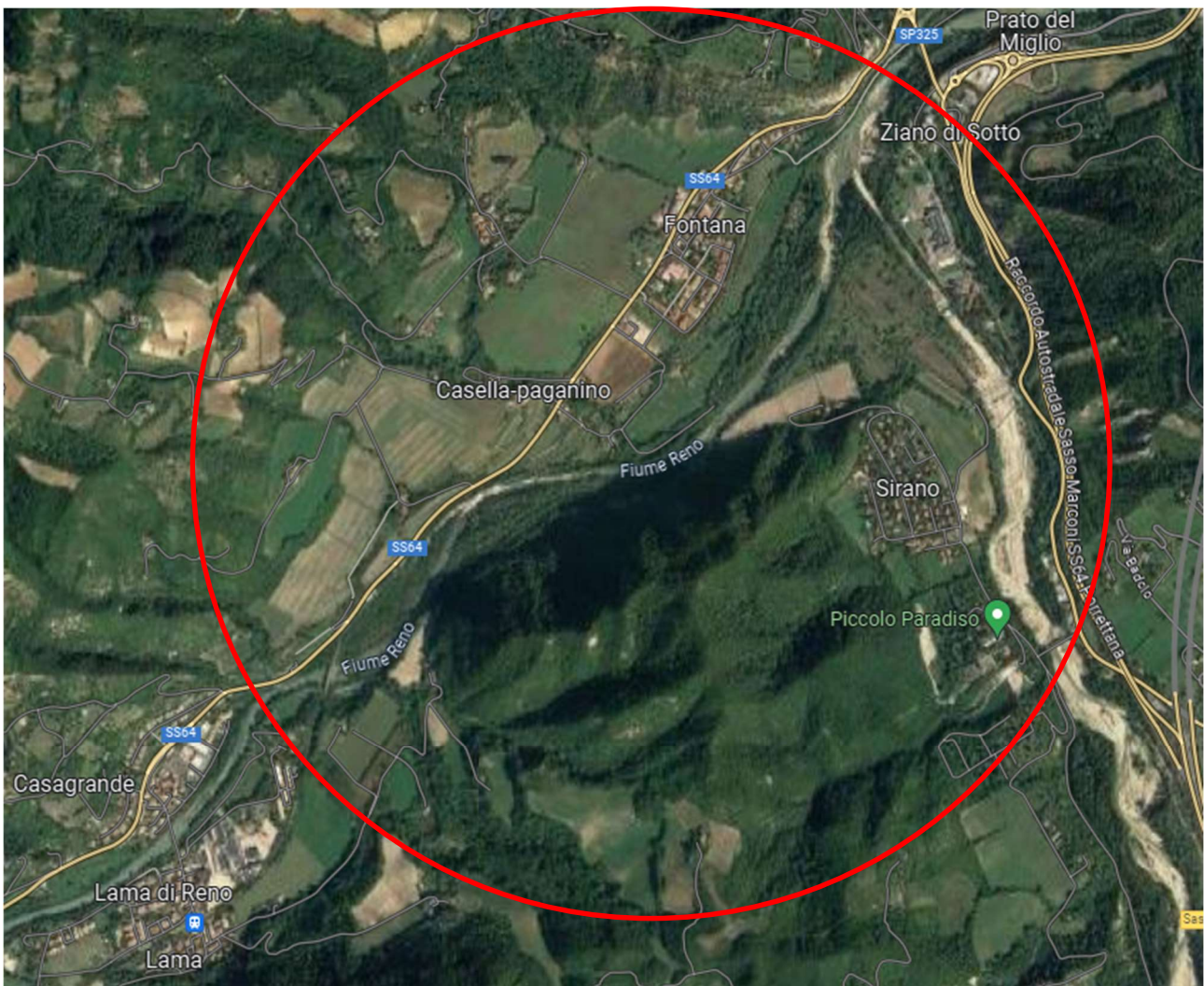
$$\Delta T_{-} = -15^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = -30^{\circ}\text{C}$$

6.10 Azione del vento

L'azione del vento é stata modellata come azione statica equivalente utilizzando la trattazione proposta in NTC 2018 e EN1991-1-4.

Definizione geografica del sito: in accordo con NTC 2018

L'immagine seguente riporta un estratto da Google Maps dell'area circostante il sito con evidenziazione dell'area posta entro $R = \max(1 \text{ km}, 20 \times \text{altezza della costruzione}) = \max(1000\text{m}, 20 \times 35\text{m}) = 1000\text{m}$ dal sito al fine della determinazione della classe di rugosità.



Si può osservare che la classe di rugosità è essenzialmente riconducibile alla D (“Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli”) per il settore di 180 deg che si estende dalla direzione NE a SO. Il settore opposto mostra la presenza del fianco di un rilievo. Per tale settore si fa riferimento all’appendice D del documento CNR-DT-207-R1-2018 che permette di valutare il coefficiente di topografia Ct.

Con riferimento alla figura riportata nella pagina successiva:

Non si conoscono le caratteristiche geometriche del rilievo (H, Lu, Ld). Comunque l’opera non si trova sul pendio (da cui $z / L_e \cong 0$) e ad una certa distanza dalla sua base.

Caso 1: vento da NO:

$$x/L_u < -1.1 \quad \rightarrow s \leq 0.05$$

Caso 2: vento da SE:

$$x/L_d = 1.1 \text{ (a favor di sicurezza)} \quad \rightarrow s \leq 0.12$$

e facendo riferimento al caso più severo in funzione di Φ (Caso D.1c $\Phi \geq 0.3$)

$$c_t = 1 \quad \text{per } \Phi \leq 0,05 \quad \text{(D.1a)}$$

$$c_t = 1 + 2 \cdot s \cdot \Phi \quad \text{per } 0,05 < \Phi < 0,3 \quad \text{(D.1b)}$$

$$c_t = 1 + 0,6 \cdot s \quad \text{per } \Phi \geq 0,3 \quad \text{(D.1c)}$$

dove:

s è il fattore di posizione orografica fornito dalla Figura D.1, per i pendii, e dalla Figura D.2, per le colline, in funzione delle coordinate x e z ; in alternativa, esso è fornito dalle espressioni elencate al paragrafo D.2;

$\Phi = H/L_u$, è la pendenza media del fronte del rilievo esposto al vento;

H è l’altezza del rilievo;

L_u è la lunghezza (in orizzontale) del fronte del rilievo esposto al vento;

L_e è la lunghezza effettiva (in orizzontale) del fronte del pendio esposto al vento:

$$L_e = L_u \text{ per } \Phi \leq 0,3;$$

$$L_e = H/0,3 \text{ per } \Phi > 0,3;$$

L_d è la lunghezza (in orizzontale) del fronte sotto vento della collina;

x è la distanza (in orizzontale) della costruzione dalla sommità del rilievo;

z è l’altezza sul suolo.

si ottiene coefficiente di topografia $ct = 1 + 0.6 \times 0.12 = 1.07$

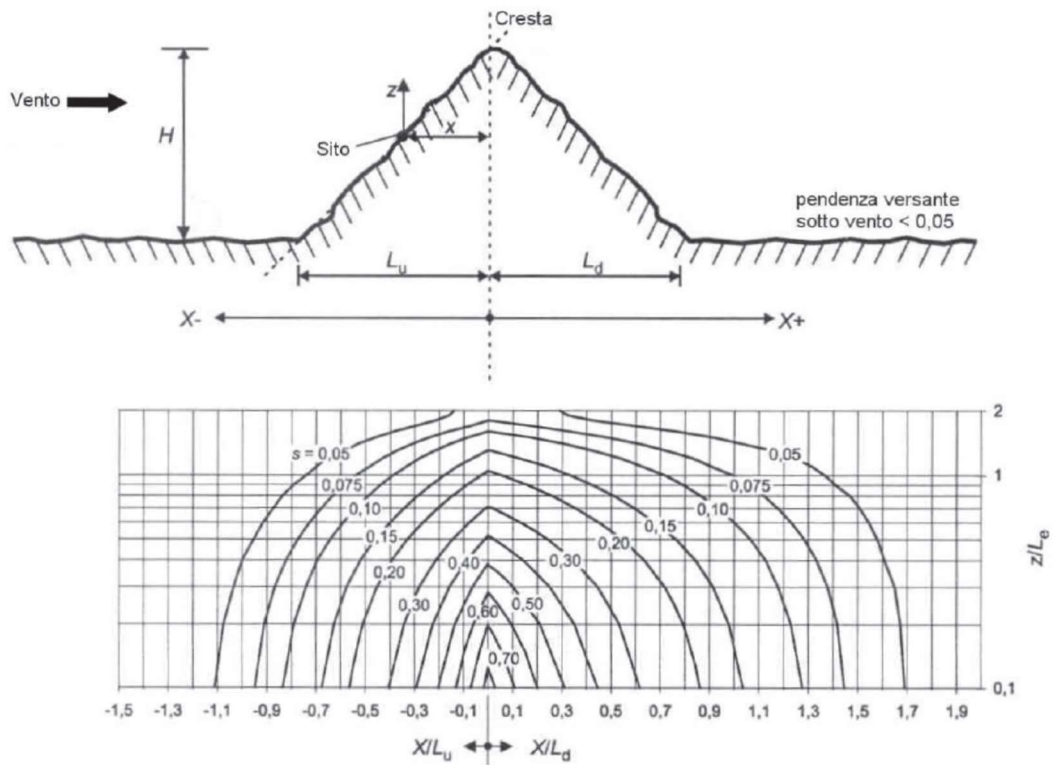


Figura D.2 - Fattore di posizione orografica s per le colline isolate.

6.10.1 Coefficiente dinamico C_d (o $C_s C_d$)

Il coefficiente $C_s C_d$ tiene conto dell'eventuale amplificazione dinamica mediata dalla non contemporaneit  dei picchi.

Il procedimento semplificato proposto nell'annesso B di EN1991-1-4 (vedere di seguito) propone un valore di $C_s C_d$ unitario:

Decremento logaritmico smorzamento:

(Annex F, p.to 5)

smorzamento strutturale

(vedere tavola F.2)

δ_s 0.040

AlongWind C_f

C_f 1.00

Larghezza [m]

b 3.50

massa equivalente [kg/m]

m_e 1786

smorzamento aerodinamico (F.18)

δ_a 0.026

smorzamento totale (F.15)

$$\delta = \delta_s + \delta_a \quad \mathbf{0.066}$$

dimensioni geom. struttura

b [m]	3.5
h [m]	40.0
frequenza fondam. di vibrazione [Hz]	
n1	1.270

Frequenza a-dimensionale (B.1(2))

$$f_L(z_s, n_1) \quad 2.976$$

Densità adim. potenza spettrale (B.2)

$$S_L(z_e, n_1) \quad 0.064912$$

Frequenza attesa (B.5)

$$v \text{ [Hz]} \quad 0.7685$$

Fattore di picco (B.4)

$$k_p \quad 3.674$$

Fattore di struttura $c_s c_d$: (Annex B)

altezza di riferimento

$$z_s \text{ [m]} \quad 10.0$$

decr. log. smorzamento

$$\delta \quad 0.066$$

velocità media

$$V_m(z_s) \text{ [m/s]} \quad 26.95$$

intensità turbolenza

$$I_v(z_s) \quad 0.1764$$

$$\text{altezza di riferimento } z_t \text{ [m]} \quad 200$$

$$\text{scala lunghezza di riferimento } L_t \text{ [m]} \quad 300$$

$$\alpha \text{ (B.1(1))} \quad 0.5202$$

scala integrale turbolenza

$$L(z_s) \text{ [m]} \text{ (B.1)} \quad 63.14$$

$$\text{Fattore di background } B^2 \text{ (B.3)} \quad 0.584$$

Funzione di ammettenza aerodinamica orizzontale

$$\eta_h \quad 8.671$$

$$R_h \text{ (B.7)} \quad 0.108672$$

Funzione di cross-correlazione orizzontale

$$\eta_b \quad 0.759$$

$$R_b \text{ (B.8)} \quad 0.63988$$

$$\text{Fattore di risposta risonante } R^2 \text{ (B.6)} \quad 0.337$$

$$c_s \text{ (6.2)} \quad 0.8698$$

$$c_d \text{ (6.3)} \quad 1.1546$$

$$\mathbf{\text{Fattore di struttura } c_s c_d: \quad 1.00}$$

Definizione geografica del sito:

Zona [1 --> 9]	2	
Classe rugosità [A --> D]	D	
distanza dalla costa [km] (10;40)	100	
altitudine as [m] (500;750)	100.0	
Categoria di esposizione [I --> V]	II	
Periodo di ritorno (T_R) [anni]	50	
coeff. topografia	1.07	
coeff. dinamico cd	1.000	
Vb,0 [m/s]	25	da Zona 2
ao [m]	750	da Zona 2
ks [1/s]	0.45	da Zona 2
kr	0.2	da Categoria III
zo [m]	0.1	da Categoria III
zmin [m]	5.00	da Categoria III
$\alpha_R(T_R)$ (secondo Circ. NTC 2018)	1.00	
velocità di riferimento Vb [m/s]	25.0	
press. cinetica di rifer. qb [N/m ²]	391.2	

Valore della pressione del vento al variare della quota z e con coefficiente di pressione cp unitario:

altezza	pressione vento	coeff. esposizione pressioni	profilo altim.	velocità media	coeff. esposizione velocità	velocità picco
z	$p(z) = c_p q(z)$	$c_e(z)$	$= \ln(z/z_0) \quad z > z_{min}$	$= k_r c_t \alpha(z) V_b$	$c_{ev}(z)$	$= c_{ev} V_{ref}$
[m]	[N/m ²]		$\alpha(z)$	$v_m(z)$		$v_p(z)$
				[m/sec]		[m/sec]
4.0	774	1.978	4.382	22.29	1.407	35.19
10.0	1014	2.593	5.298	26.95	1.610	40.29
15.0	1129	2.887	5.704	29.01	1.699	42.51
20.0	1214	3.104	5.991	30.47	1.762	44.08
25.0	1282	3.277	6.215	31.61	1.810	45.29
30.0	1338	3.421	6.397	32.54	1.850	46.27
35.0	1387	3.545	6.551	33.32	1.883	47.11

Si ricava la pressione del vento (associate a coefficiente di pressione unitario) agente su:

impalcato (z = 10m)	1.01	kN/m ²
pilone (z = 35m)	1.39	kN/m ²

IMPALCATO – Azione verticale

Coefficienti di pressione e depressione. Con riferimento a EN1991-1-4 p.to 8.3.3:

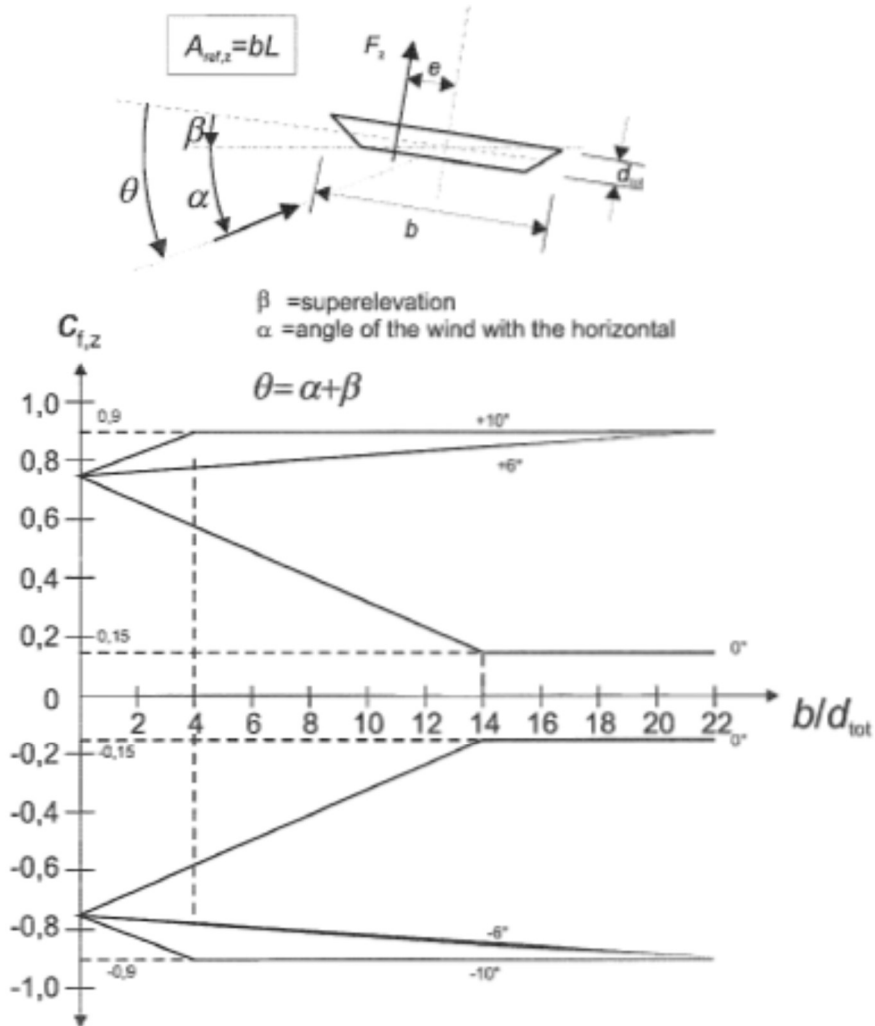


Figure 8.6 — Force coefficient $c_{f,z}$ for bridges with transversal slope and wind inclination

larghezza impalcato	b	da 3 a 4	m
spessore impalcato	d	0.5	m
	b/d	da 6 a 8	
Coefficiente	$C_{f,z}$	+/-0.5	
	pz	+/-0.50	kN/m ²

IMPALCATO – Azione orizzontale

Spinta orizzontale su impalcato

Altezza (0.65m + 50% Hparapetto)	h	1.2 m
Coefficiente	Cp	1.00
	p	1.21 kN/m

PILONE – Azione orizzontale

Coefficiente di pressione	Cp	2.8	Punto C3.3.8.7 della circolare alle NTC 2018
Larghezza (media)	B	1 m	
Carico laterale	p	3.89 kN/m	

6.11 Azione del sisma

La progettazione sismica si basa sull'ipotesi di strutture con comportamento non dissipativo. Sotto tale ipotesi, nella valutazione della domanda tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità del materiale, attraverso un modello elastico.

Secondo quanto riportato dal paragrafo 7.2.2 delle NTC 2018, la componente verticale deve essere considerata.

Vista la particolare tipologia della struttura che non rientra nelle casistiche individuate dalla normativa, che permettono (per la componente orizzontale) di considerare un valore del fattore di struttura $q_H > 1$, si considera cautelativamente $q_H = 1.0$.

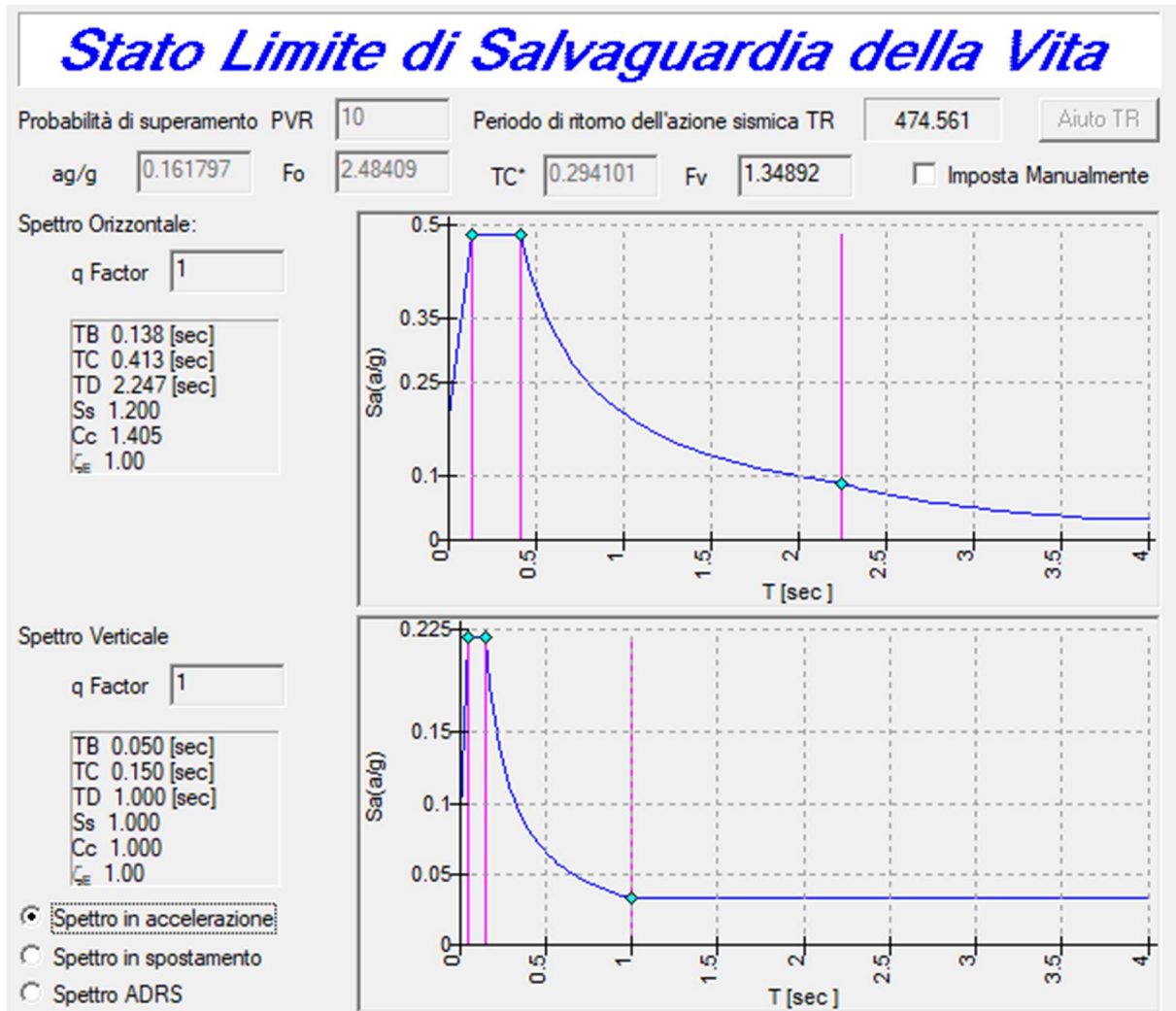
Per la componente verticale la norma impone $q_V = 1.0$.

6.11.1 Spettri in accordo con TU 2018

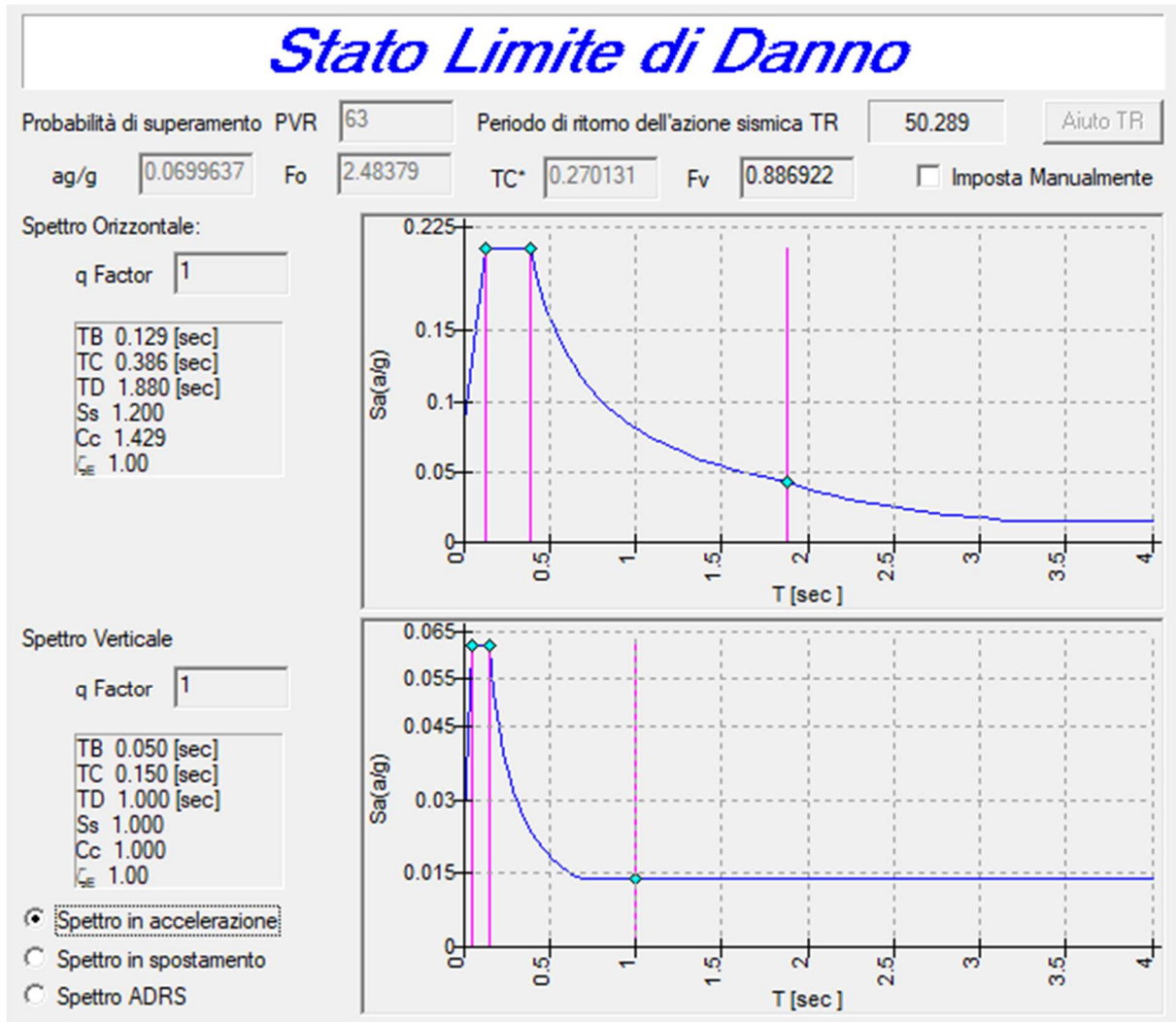
- Sasso Marconi (BO) Longitudine 11.2326 deg Latitudine 44.3769 deg
- Tipo di Terreno B
- Coefficiente di amplificazione topografica (ST) 1.0000
- Vita nominale della costruzione (VN) 50.0 anni
- Classe d'uso II coefficiente CU 1.0
- Classe di duttilità: Non Dissipativa

Stato Limite	q_H	q_V
SLV	1.00	1.00
SLD	1.00	1.00
SLO	1.00	1.00

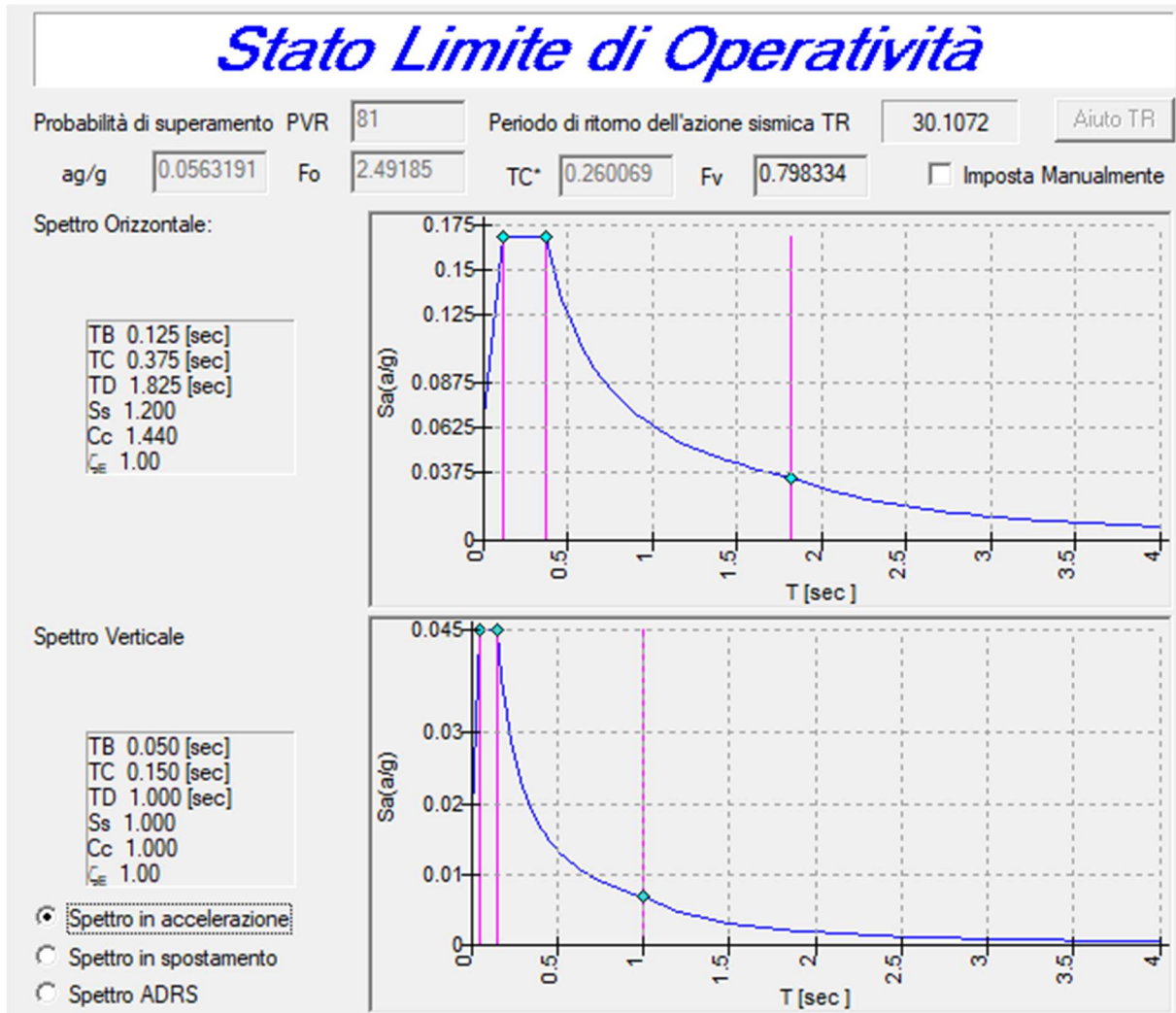
Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)



Stato Limite di Danno (SLD)



Stato Limite di Operatività (SLO)



6.12 Combinazioni di carico

Operando in accordo con il metodo agli stati limite descritto nelle NTC 2018 per i ponti (cap. 5), vengono prese in considerazione le seguenti tipologie di combinazioni di carico:

COMBINAZIONI SLU STATICHE

$$F_d = \gamma_{G1} G_{K1} + \gamma_{G2} G_{K2} + \gamma_{Q1} Q_{K1} + \sum_{i=2} \psi_{0i} \gamma_{Qi} Q_{Ki}$$

In cui:

	Sfavorevoli alla sicurezza	Favorevoli alla sicurezza
γ_{G1}	1.35	1.00
γ_{G2}	1.50	0.00
γ_Q (escluso carichi da traffico)	1.50	0.00
γ_Q (da traffico)	1.35	0.00

Coefficienti di partecipazione ψ_i delle azioni variabili:

Azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Qk (escluso carichi da traffico)	0.7	0.7	0.6
Folla (*)	0.7	0.0	0.0
Neve (**)	0.5	0.2	0.0
Vento (***)	0.6	0.2	0.0
ΔT	0.6	0.6	0.0

(*) Folla: a favor di sicurezza si assumo il coefficiente ψ_0 previsto per Cat. C (suscettibili di affollamento)

(**) Neve: a favor di sicurezza (i valori richiesti sono nulli)

(***) Vento a ponte scarico (caso peggiore)

COMBINAZIONI SLU/SLD SISMICHE

$$F_d = A_{Ed} + G_K + \sum_i \psi_{2i} Q_{Ki}$$

Masse calcolate come

$$G_K + \sum_i \psi_{2i} Q_{Ki}$$

COMBINAZIONI SLE

- Rare o caratteristiche

$$F_d = G_{K1} + G_{K2} + Q_{K1} + \sum_{i=2} \psi_{0i} Q_{Ki}$$

- Frequenti

$$F_d = G_{K1} + G_{K2} + \psi_{1,1} Q_{K1} + \sum_{i=2} \psi_{2i} Q_{Ki}$$

- Quasi permanenti:

$$F_d = G_{K1} + G_{K2} + \sum_{i=1} \psi_{2i} Q_{Ki}$$

Le combinazioni di carico prese in esame sono specificate negli annessi dedicati all'analisi dei modelli matematici.

7 Analisi strutturale

L'analisi della risposta strutturale all'azione dei carichi di base e delle sue probabili combinazioni, è stata eseguita mediante il metodo dell'equilibrio o degli spostamenti.

La maggiore parte delle analisi è stata eseguita mediante elaborazione assistita da computer con procedure interattive grafiche e software indirizzato all'ingegneria civile redatto e controllato in accordo alle CNR-UNI 10024/86 "Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo" e al capitolo 10 delle NTC 2018.

Il programma di analisi strutturale adottato in campo lineare elastico è lo STRAND di Enxsys le cui specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli sono illustrate nell'Allegato Z dedicato.

Dove ritenuto necessario è stato eseguito un giudizio motivato di accettabilità dei risultati automatici mediante analisi comparativa eseguita con modelli semplificati.

7.1 Metodo di analisi degli effetti dell'azione sismica

Il metodo di analisi utilizzato per la valutazione delle sollecitazioni prodotte dal sisma è l'analisi dinamica modale. Il modello della struttura adottato è tridimensionale e rappresenta in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa,

Per i materiali si adottano leggi costitutive elastiche.

Nel rappresentare la rigidità degli elementi strutturali si è tenuto conto della fessurazione riducendo la rigidità flessionale e a taglio degli elementi in calcestruzzo armato fino al 50% della rigidità dei corrispondenti elementi non fessurati, tenendo debitamente conto dello stato limite considerato e dell'influenza della sollecitazione assiale permanente.

Si considerano 3 direzioni d'ingresso del sisma:

X (asse longitudinale)

Y (asse longitudinale trasversale)

Z (asse verticale)

La risposta all'azione sismica è calcolata unitariamente per le due componenti, applicando l'espressione

$$E_x + 0.30 E_y + 0.30 E_z$$

permutando circolarmente i coefficienti moltiplicativi (l'elenco delle specifiche combinazioni è riportato negli allegati dedicati ai singoli modelli matematici).

7.2 Rispetto dei requisiti nei confronti degli stati limite

Per tutti gli elementi strutturali primari e secondari, gli elementi non strutturali e gli impianti si deve verificare che il valore di ciascuna domanda di progetto, definito dalla tabella 7.3.III seguente per ciascuno degli stati limite richiesti, sia inferiore al corrispondente valore della capacità di progetto.

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

^(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.
^(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

7.3 Modalità di calcolo delle capacità degli elementi in c.a. con riferimento al loro comportamento elastico in ambito sismico

Avendo adottato l'ipotesi di comportamento non dissipativo, nel calcolo delle capacità degli elementi in c.a. si assume un comportamento sostanzialmente elastico (vedere NTC 2018 7.3.6.1).

Il comportamento sostanzialmente elastico viene rappresentato, in accordo con quanto specificato nel p.to 4.1 delle NTC 2018, adottando per i materiali cls e acciaio d'armatura dei diagrammi costitutivi privati del ramo plastico:

per l'acciaio il diagramma σ - ε quindi é limitato al ramo elastico: $-f_{yd} \leq \sigma \leq +f_{yd}$ per ε compreso tra $-\varepsilon_{yd}$ e $+\varepsilon_{yd}$;

per il cls il diagramma σ - ε quindi é limitato al ramo $0 \leq \varepsilon_c \leq 0.2\%$.

7.4 Effetti delle imperfezioni

In accordo con quanto specificato nel p.to 4.2.3.5 delle NTC 2018, sono stati considerati gli effetti delle imperfezioni geometriche nelle strutture compresse ai fini del dimensionamento delle strutture di controvento.

7.5 Valori di calcolo delle resistenze dei materiali strutturali

I valori di calcolo $X_d (= X_k / \gamma M)$ dei materiali sono desunti dai corrispondenti valori caratteristici X_k mediante le formulazioni e l'impiego dei coefficienti di sicurezza γM prescritti nelle NTC 2018.

7.6 Progettazione di elementi costruttivi non strutturali

Per le strutture di sostegno e relativi dettagli di attacco de:

- a) gli eventuali paramenti esterni;
- b) gli elementi appesi/collegati all’impalcato e ai piloni;

il dimensionamento é a carico del Fornitore in accordo con le azioni di progetto:

- 1) verticali (peso proprio, peso portato, eventuale azione variabile);
- 2) orizzontali (spinta del vento, azione sismica quest’ultima determinata in accordo con il par.7.2.3 delle NTC 2018).

7.7 Dimensionamento delle ampiezze del giunto longitudinale tra l’impalcato e la pila destra

Il vincolo longitudinale è localizzato sulla spalla sinistra mentre in corrispondenza delle pile sono ammessi i movimenti longitudinali. Sulla pila destra è localizzato il giunto longitudinale con escursione $\Delta X = \pm 100\text{mm}$.

8 Allegati e altri documenti

Allegati alla Relazione Tecnica

Nome	Titolo
Allegato 1	Passerella - Descrizione del modello matematico elastico lineare e dei principali risultati dell’analisi statica e dinamica – Verifiche della struttura metallica principale
Allegato 2	Rampe - Descrizione del modello matematico elastico lineare e dei principali risultati dell’analisi statica e dinamica – Verifiche della struttura in elevazione
Allegato Z	Enexsys WinStrand - Programmi di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

**Passerella ciclopedonale fiume Reno – Sasso
Marconi**

Progetto Definitivo

**Relazione tecnica delle strutture metalliche
ALLEGATO 1**

STR_REL_6_4

Sommario

1	Premessa	4
2	Descrizione del modello matematico.....	4
2.1	Premessa	4
2.2	Viste e numerazioni.....	4
2.3	Materiali e sezioni	12
2.3.1	Materiali	12
2.3.2	Sezioni	12
2.4	Carichi e azioni	15
2.5	Condizioni e combinazioni di carico.....	16
3	Principali risultati dell’analisi frequenziale.....	22
4	Principali risultati dell’analisi statica e dinamica.....	28
4.1	Deformate e spostamenti	28
4.2	Sollecitazioni.....	42
4.3	Scarichi in fondazione	56
4.3.1	Reazione globale	56
4.3.2	Reazione globale Spalla sinistra	58
4.3.3	Reazione globale Pila centrale	61
4.3.4	Reazione globale Pila destra	63
5	Verifiche	66
5.1	Verifiche di deformabilità.....	66
5.2	Verifiche di comfort vibrazionale dei pedoni.....	67
5.3	Dimensionamento delle ampiezze del giunto longitudinale tra l’impalcato e la pila destra.....	67
5.4	Verifica di resistenza delle membrature in acciaio	68
5.4.1	Trave reticolare spaziale - Aste	68
5.4.2	Trave reticolare spaziale - Nodi.....	69
5.4.3	Pennoni	75
5.4.4	Funi	77
5.4.5	Corrimano.....	77
5.5	Verifica di resistenza soletta mista lamiera grecata -cls	77
5.5.1	Verifica in presenza di folla (dalle tabelle del Produttore)	78
5.5.2	Verifiche in presenza di folla (calcoli di massima).....	78
5.5.3	Verifiche in fase di getto	79
5.5.4	Verifiche in presenza di mezzo a 4 ruote	80

6	Stima delle quantità	84
6.1	Trave reticolare spaziale	84
6.2	Impalcato, montanti e corrimano	84
6.3	Pennoni	85
6.4	Funi e capicorda	86
6.5	Solaio misto lamiera grecata e cls collaborante.....	86

1 Premessa

Il presente documento costituisce un Allegato della Relazione Tecnica delle strutture della Passerella ciclopedonale sul fiume Reno e contiene i principali risultati dell'analisi statica e dinamica condotta sul modello matematico della parte in elevazione della passerella.

2 Descrizione del modello matematico

2.1 Premessa

Sono stati sviluppati due modelli matematici:

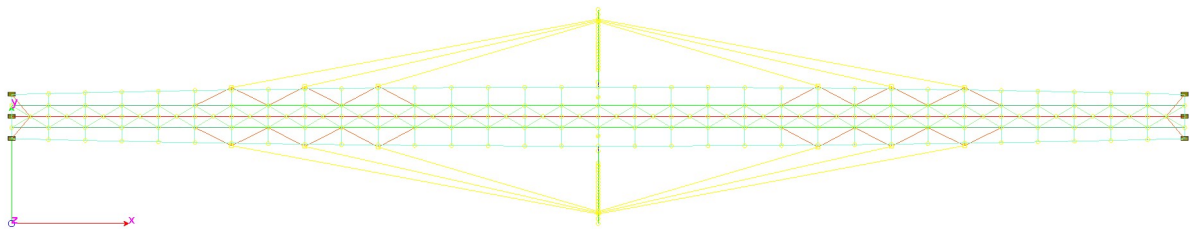
- 1) Modello senza schematizzazione della soletta dell'impalcato ("2023-11-07 Modello passerella No Isolatori NO massa folla CatB CatII R1.dt").
- 2) Modello con schematizzazione della soletta dell'impalcato ("2023-11-07 Modello passerella No Isolatori Con soletta NO massa folla CatB CatII R1.dt").

Il primo modello è stato utilizzato per le verifiche di resistenza delle membrature metalliche.

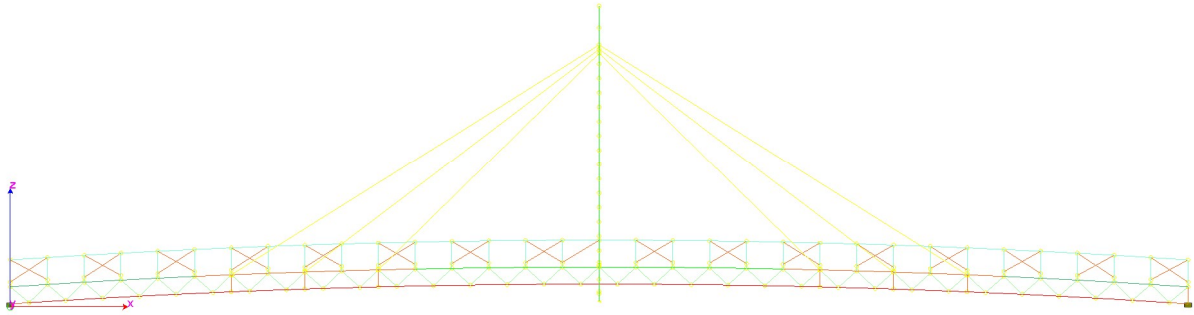
Il secondo modello è stato utilizzato per ricavare:

- le frequenze naturali di vibrazione (più realistiche rispetto all'altro modello) per le verifiche preliminari sul comfort
- le reazioni vincolari (quelle delle combinazioni sismiche oltre che più realistiche sono a favor di sicurezza in quanto associate a periodi di vibrazione minore) per il dimensionamento dei dispositivi di vincolo e delle strutture di sostegno in c.a..

2.2 Viste e numerazioni



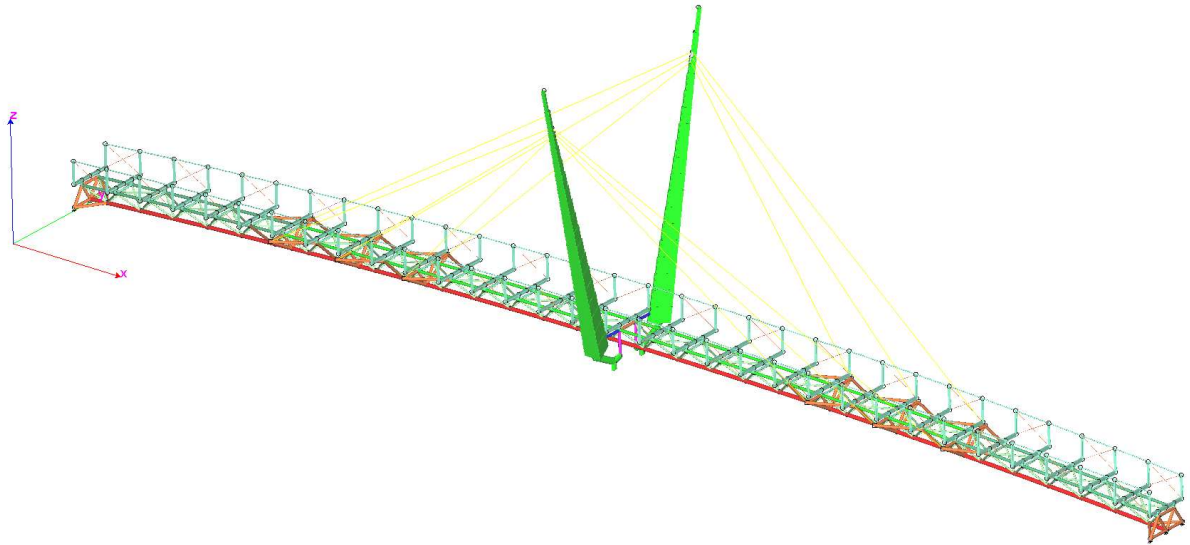
Pianta



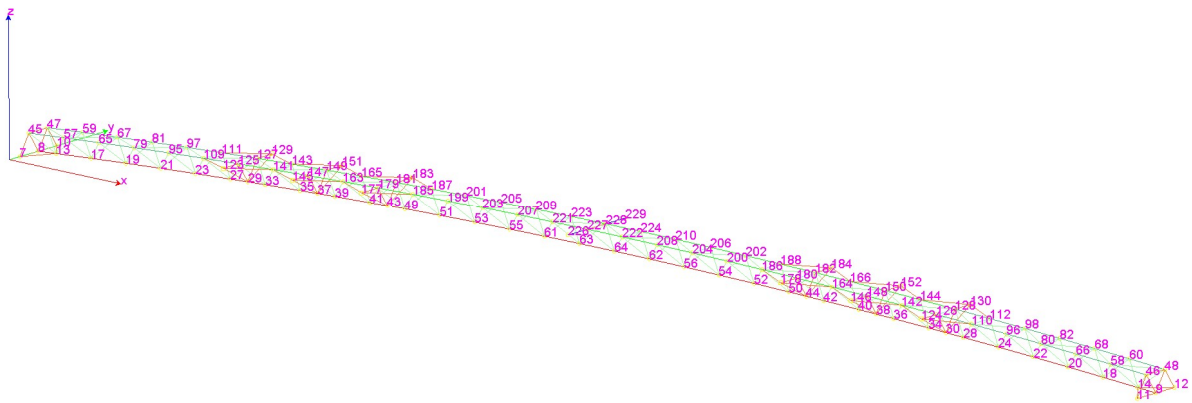
Vista laterale



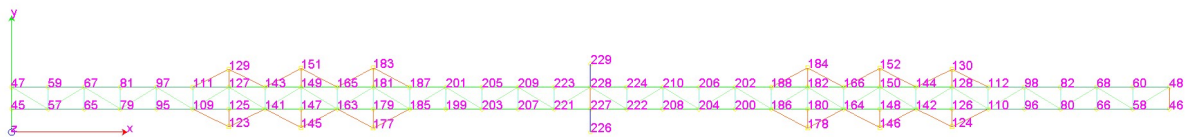
Vista frontale



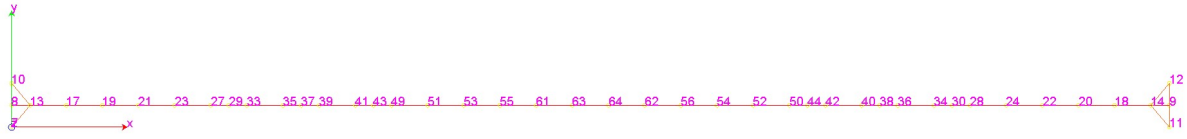
Vista solida assonometrica



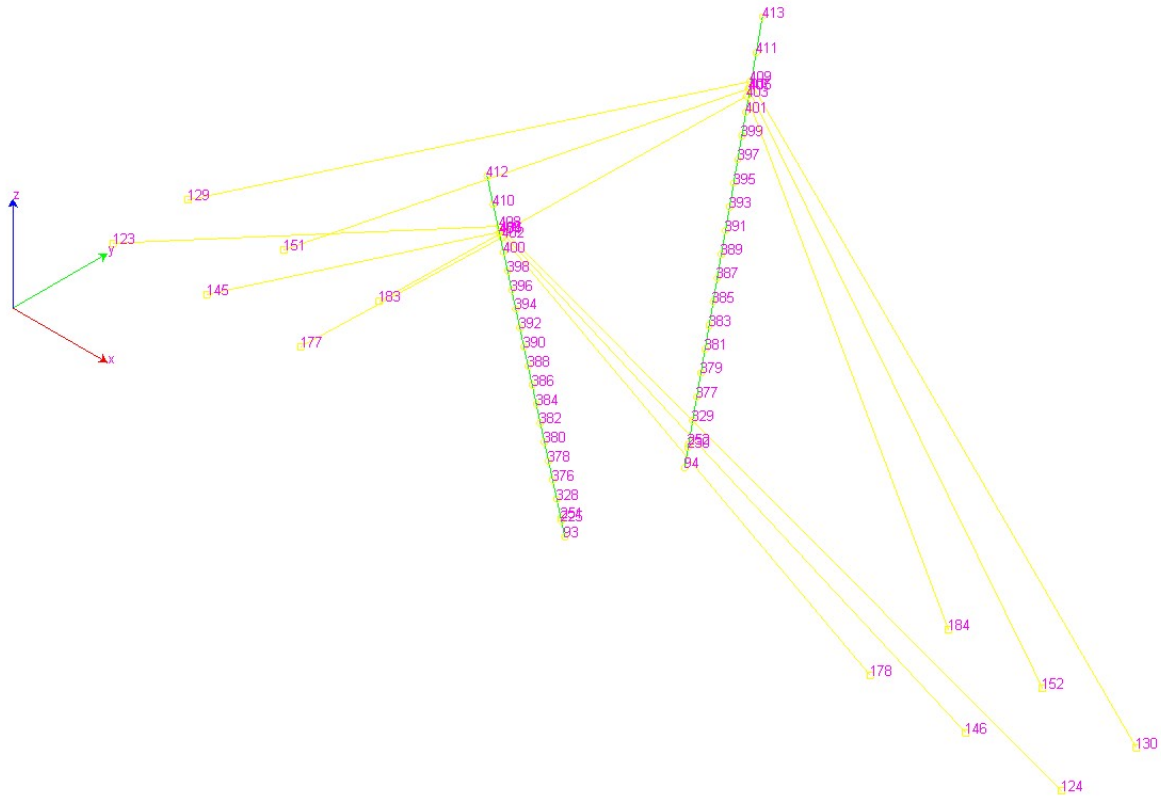
Numerazione nodale trave reticolare spaziale



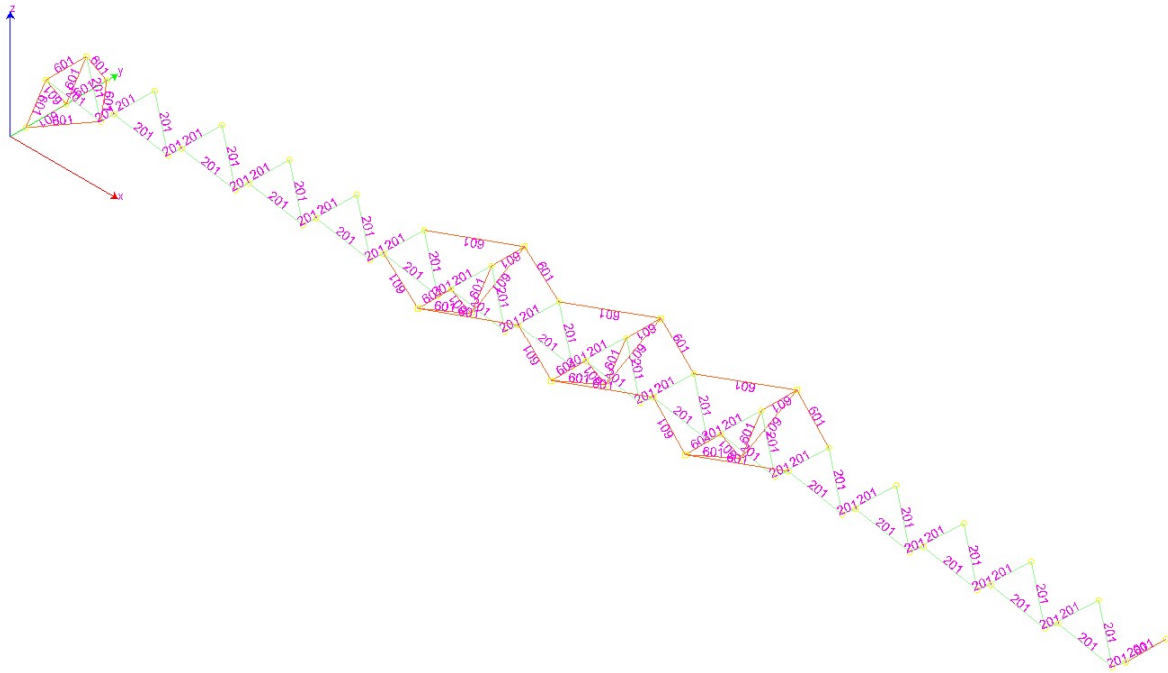
Numerazione nodale estradosso trave reticolare spaziale

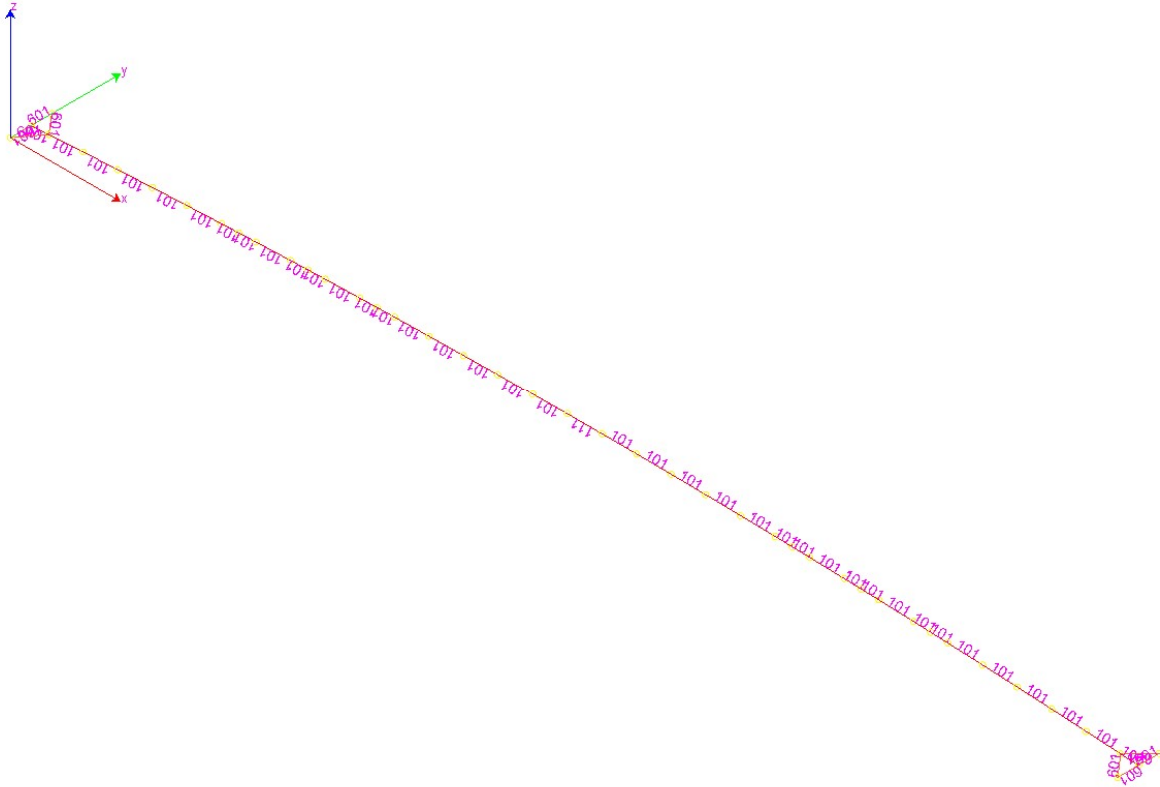


Numerazione nodale intradosso trave reticolare spaziale

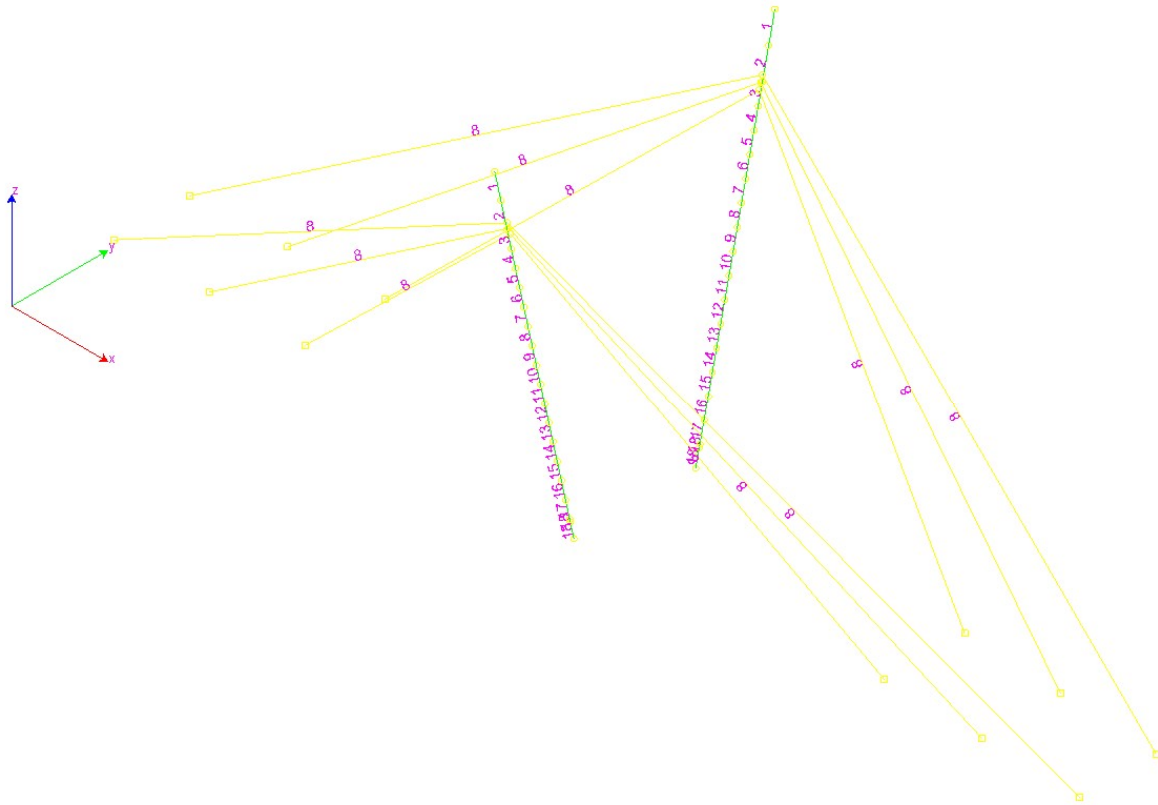


Numerazione nodale piloni e stralli

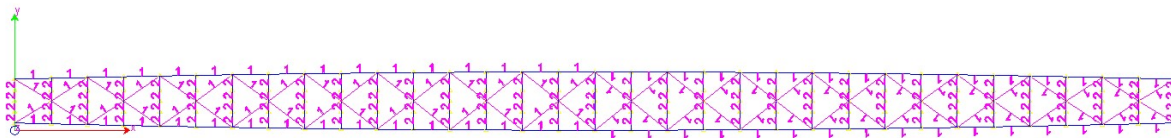




Numerazione sezioni aste intradosso trave reticolare spaziale



Numerazione sezioni piloni e stralli



Numerazione sezioni degli elementi aggiuntivi per modellazione soletta impalcato

2.3 Materiali e sezioni

2.3.1 Materiali

Materiale Numero	Info	E	ν	α	Peso Specifico
		[MPa]		1/[1/°C]	[kN/m ³]
1	Acciaio S 355	210000	0.33	0.000012	78.5
2	Dummy	210000003.1	0.33	0.00001	0.1
3	Acciaio Funi	165000	0.33	0.00001	83.7
99	Dummy	210000.00	0.30	0.000000	0.00

2.3.2 Sezioni

Piloni – Elementi tipo “beam”

Sezione nr.	Materiale	
1	1	CassoniPasserellaReno Concio750 Pilone
2	1	CassoniPasserellaReno Concio2250 Pilone
3	1	CassoniPasserellaReno Concio3500 Pilone
4	1	CassoniPasserellaReno Concio4500 Pilone
5	1	CassoniPasserellaReno Concio5500 Pilone
6	1	CassoniPasserellaReno Concio6500 Pilone
7	1	CassoniPasserellaReno Concio7500 Pilone
8	1	CassoniPasserellaReno Concio8500 Pilone
9	1	CassoniPasserellaReno Concio9500 Pilone
10	1	CassoniPasserellaReno Concio10500 Pilone
11	1	CassoniPasserellaReno Concio11500 Pilone
12	1	CassoniPasserellaReno Concio12500 Pilone
13	1	CassoniPasserellaReno Concio13500 Pilone
14	1	CassoniPasserellaReno Concio14500 Pilone
15	1	CassoniPasserellaReno Concio15500 Pilone
16	1	CassoniPasserellaReno Concio16500 Pilone
17	1	CassoniPasserellaReno Concio17500 Pilone
18	1	CassoniPasserellaReno Concio18500 Pilone
98	1	Quals. Extension Pilone
99	2	Quals. Offset Pilone

Sezione	Area	J3	J2	J23	Jt	Xx	Xy
	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]		
1	109.44	3408	6619	0	974	2.2	1.5
2	158.24	14073	16029	0	10534	1.9	1.5

3	234.58	26854	29805	0	25353	2.3	1.4
4	267.38	48884	43270	0	42153	2.2	1.3
5	299.86	79564	60173	0	63877	2.1	1.3
6	332.82	120395	81390	0	91049	2	1.3
7	365.62	172273	107015	0	435	1.9	1.3
8	398.1	236646	137235	0	463	1.9	1.3
9	430.9	314188	173089	0	491	1.8	1.3
10	463.86	406423	214938	0	519	1.8	1.3
11	496.34	513628	262324	0	547	1.8	1.3
12	529.14	638017	316806	0	575	1.8	1.3
13	561.62	780813	377727	0	602	1.7	1.3
14	594.58	942467	447077	0	630	1.7	1.3
15	627.38	1123950	524071	0	658	1.7	1.3
16	659.86	1325740	608563	0	686	1.7	1.3
17	692.66	1550720	702667	0	714	1.7	1.3
18	725.3	1800620	805459	0	742	1.6	1.2
98	725.3	1800620	805459	0	742	1.6	1.2
99	725.3	1800620	805459	0	742	1.6	1.2

Trave reticolare spaziale e impalcato – Elementi tipo “beam”

Sezione nr.	Materiale	
1	99	Corrente equivalente soletta
101	1	CHS_EN10219 244.5X12.0 Corrente Long Inf
111	1	CHS_EN10219 244.5X12.5 Corrente Long Inf rinf
201	1	CHS_EN10219 114.3X5.0 Diagonali di Parete
301	1	CHS_EN10219 177.8X8.0 Corrente Long Sup
311	1	CHS_EN10219 177.8X12.0 Corrente Long Sup Rinf
401	1	CHS_EN10219 114.3X5.0 Traversi Sup
501	1	CHS_EN10219 114.3X6.0 Diagonali Orizzontali Reticola
601	1	CHS_EN10219 177.8X8.0 Aste Aggancio Impalcato
701	1	CHS_EN10219 177.8X8.0 Ritegno trasversale
1001	1	HEAA 180 Trasv Impalc
1101	1	HEAA 180 Sostegn Impalc
2001	2	CHS_EN10219 193.7X8.0 AUX Connessioni Dummy
3001	1	HEAA 120 Parapetto
3101	1	CHS_EN10219 60.3X3.0 Corrimano

Sezione	Area	J3	J2	J23	Jt	Xx	Xy
	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]		
1	40.00	1971	730	0	8	4.1	1.4
101	87.65	5938	5938	0	11877	1.5	1.5
111	91.11	6147	6147	0	12295	1.5	1.5
201	17.17	257	257	0	514	1.5	1.5
301	42.68	1541	1541	0	3083	1.5	1.5
311	62.51	2159	2159	0	4318	1.5	1.5
401	17.17	257	257	0	514	1.5	1.5
501	20.41	300	300	0	600	1.5	1.5
601	42.68	1541	1541	0	3083	1.5	1.5
701	42.68	1541	1541	0	3083	1.5	1.5
1001	36.61	1971	730	0	8	4.1	1.4
1101	36.61	1971	730	0	8	4.1	1.4
2001	46.67	2016	2016	0	4031	1.5	1.5
3001	18.6	414	159	0	3	3.8	1.4
3101	5.40	22	22	0	44	1.5	1.5

Elementi tipo "truss"

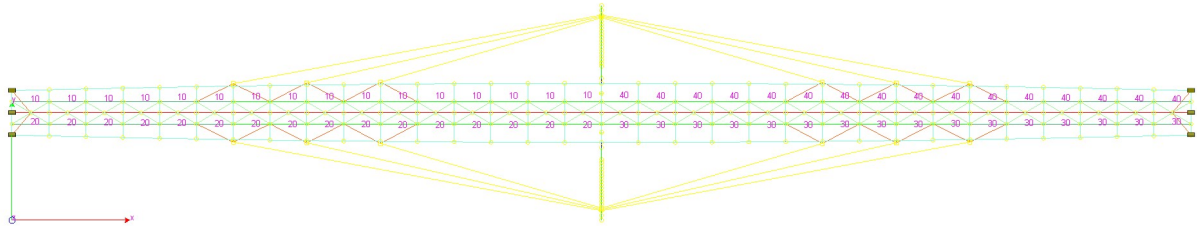
Sezione nr.	Material		
1	99		Diagonale equiv. soletta
8	3		FuniRedaelli_FLC FLC_1xD32 Funi1(D.B.)
100		Appoggio fisso longit.	KN 999999.98 [kN/m]
			KVx 999999.98 [kN/m]
101		Appoggio libero longit.	KN 999999.98 [kN/m]
102		Vincolo trasversale	KVy 999999.98 [kN/m]
103	1		CHS_EN10219 177.8X8.0 Appoggi centrali(D.B.)
200	1		Tubi Pieni 20 Controventi parapetto(D.B.)

Sezione	Area	J3	J2	J23	Jt	Xx	Xy
	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]		
1	10.00	0	0	0	0	0	0
8	6.81	1000000	1000000	0	0	1	1
103	42.68	1541	1541	0	3083	1.5	1.5
200	3.14	1	1	0	2	1.1	1.1

2.4 Carichi e azioni

Per i dettagli delle azioni di progetto vedere la Relazione Tecnica.

Area di carico:



Numerazione aree di carico

Area	Numero	Commento	A _x [m ²]	A _y [m ²]	A _z [m ²]	Area [m ²]	Carichi unitari per condizione				Carichi Totali			
							Cond.	q _x	q _y	q _z	Applicato	Q _x	Q _y	Q _z
						[kN/m ²]		[kN/m ²]	[kN/m ²]	Riferimento	[kN]	[kN]	[kN]	
10	Area X-Y+		-2.3	0	73.3	73.4	2	0	0	2.06	Global	0	0	151
							3	0	0	0.7	Global	0	0	51
							4	0	0	5	Glob.Pro	0	0	367
							8	-0.5	0	0	Global	-37	0	0
							11	0	0	0.5	Global	0	0	37
20	Area X-Y-		-2.3	0	73.3	73.4	2	0	0	2.06	Global	0	0	151
							3	0	0	0.7	Global	0	0	51
							5	0	0	5	Glob.Pro	0	0	367
							8	-0.5	0	0	Global	-37	0	0
							11	0	0	0.5	Global	0	0	37
30	Area X+Y-		2.3	0	73.3	73.4	2	0	0	2.06	Global	0	0	151
							3	0	0	0.7	Global	0	0	51
							6	0	0	5	Glob.Pro	0	0	367
							8	-0.5	0	0	Global	-37	0	0
							11	0	0	0.5	Global	0	0	37
40	Area X+Y+		2.3	0	73.3	73.4	2	0	0	2.06	Global	0	0	151
							3	0	0	0.7	Global	0	0	51
							7	0	0	5	Glob.Pro	0	0	367
							8	-0.5	0	0	Global	-37	0	0
							11	0	0	0.5	Global	0	0	37
			0	0	293.3	293.5								

2.5 Condizioni e combinazioni di carico

Condizioni di carico:

Condizione	
1	pp x 1.2
2	perm strutturale
3	perm port
4	folla area X+Y+
5	folla area X-Y-
6	folla area X+Y-
7	folla area X+Y+
8	folla long
9	folla parapetto
10	vento laterale impalcato
11	vento verticale Z-
12	vento X+ pilone
13	vento Y+ pilone
14	DT+
15	DT-
16	Pretensione cavi
17	Earthquake X+
18	Earthquake Y+
19	Earthquake Z-

Combinazioni di carico SLU

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	SLU	pp x 1.2	perm strutturale	perm port	folia area X-Y+	folia area X-Y-	folia area X+Y-	folia area X+Y+	folia long	folia parapetto	vento laterale	vento verticale Z-	vento X+ pilone	vento Y+ pilone	DT+	DT-	Pretenzione cavi
Nr.																	
1	Permanenti	1.35	1.35	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	Folia totale	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
3	Folia X-	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
4	Folia X+	1.35	1.35	1.50	0.00	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
5	Folia scacchiera X-Y+ e X+Y-	1.35	1.35	1.50	1.35	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
6	Folia Y+	1.35	1.35	1.50	1.35	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
7	Folia Y-	1.35	1.35	1.50	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
8	Folia scacchiere X+Y- e X-Y+	1.35	1.35	1.50	0.00	1.35	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
9	Azione long. 10% folia X+ + Folia	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
10	Azione long. 10% folia X- + Folia	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	1.35	1.35	-1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
11	Folia con spinte parapetto	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	1.35	1.35	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
12	Vento Y+ + Folia	1.35	1.35	1.50	0.81	0.81	0.81	0.81	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	1.50	0.00	0.00	1.00
13	Vento Y- + Folia	1.35	1.35	1.50	0.81	0.81	0.81	0.81	0.00	0.00	-1.50	1.50	0.00	-1.50	0.00	0.00	1.00
14	Folia + Vento Y+	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.90	0.00	0.90	0.00	0.00	1.00
15	Folia + Vento Y-	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	1.35	1.35	0.00	0.00	-0.90	0.90	0.00	-0.90	0.00	0.00	1.00
16	Vento Y+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	1.50	0.00	0.00	1.00
17	Vento Y-	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.50	1.50	0.00	-1.50	0.00	0.00	1.00
18	Vento X+ + Folia X+	1.35	1.35	1.50	0.00	0.00	0.81	0.81	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00	1.00

19	Vento X- + Folla X-	1.35	1.35	1.50	0.81	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	-1.50	0.00	0.00	0.00	1.00
20	Folla X+ + Vento X+	1.35	1.35	1.50	0.00	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.90	0.90	0.00	0.00	0.00	1.00
21	Folla X- + Vento X-	1.35	1.35	1.50	1.35	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	-0.90	0.00	0.00	0.00	1.00
22	Vento X+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.50	0.00	0.00	0.00	1.00
23	Vento X+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	-1.50	0.00	0.00	0.00	1.00
24	DT+ + Folla	1.35	1.35	1.50	0.81	0.81	0.81	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	1.00
25	DT- + Folla	1.35	1.35	1.50	0.81	0.81	0.81	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	1.00

Combinazioni di carico SLV

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	SLV	pp x 1.2	perm strutturale	perm port	folla area X-Y+	folla area X-Y-	folla area X+Y-	folla area X+Y+	folla long	folla parapetto	vento laterale	vento verticale Z-	vento X+ pilone	vento Y+ pilone	DT+	DT-	Pretensione cavi	Earthq. X+	Earthq. Y+	Earthq. Z-
Nr.	SLV	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0	0	0
1	SLV	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0	0	0
2	SLV Earthq.+X+Y+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1	0.300	0.300
3	SLV Earthq.+X+Y-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1	0.300	-0.300
4	SLV Earthq.+X-Y+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1	-0.300	0.300
5	SLV Earthq.+X-Y-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1	-0.300	-0.300
6	SLV Earthq.-X+Y+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-1	0.300	0.300
7	SLV Earthq.-X+Y-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-1	0.300	-0.300
8	SLV Earthq.-X-Y+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-1	-0.300	0.300
9	SLV Earthq.-X-Y-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-1	-0.300	-0.300
10	SLV Earthq.+Y+X+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	1.000	0.300

11	SLV Earthq.+Y+X-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	1.000	-0.300
12	SLV Earthq.+Y-X+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	1.000	0.300
13	SLV Earthq.+Y-X-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	1.000	-0.300
14	SLV Earthq.-Y+X+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	-1.000	0.300
15	SLV Earthq.-Y+X-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	-1.000	-0.300
16	SLV Earthq.-Y-X+Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	-1.000	0.300
17	SLV Earthq.-Y-X-Z	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	-1.000	-0.300
18	SLV Earthq.+Z+X+Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	0.300	1.000
19	SLV Earthq.+Z+X-Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	-0.300	1.000
20	SLV Earthq.+Z-X+Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	0.300	1.000
21	SLV Earthq.+Z-X-Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	-0.300	1.000
22	SLV Earthq.-Z+X+Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	0.300	-1.000
23	SLV Earthq.-Z+X-Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.3	-0.300	-1.000
24	SLV Earthq.-Z-X+Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	0.300	-1.000
25	SLV Earthq.-Z-X-Y	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.3	-0.300	-1.000

Combinazioni di carico SLE

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	SLU	pp x 1.2	perm strutturale	perm port	folia area X-Y+	folia area X-Y-	folia area X+Y-	folia area X+Y+	folia long	folia parapetto	vento laterale	vento verticale Z-	vento X+ pilone	vento Y+ pilone	DT+	DT-	Pretensione cavi
Nr.																	
1	Permanenti	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	Folia totale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
3	Folia X-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
4	Folia X+	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
5	Folia scacchiera X-Y+ e X+Y-	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
6	Folia Y+	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
7	Folia Y-	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
8	Folia scacchiere X+Y- e X-Y+	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
9	Azione long. 10% folia X+ + Folia	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
10	Azione long. 10% folia X- + Folia	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
11	Folia con spinte parapetto	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
12	Vento Y+ + Folia	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
13	Vento Y- + Folia	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	1.00
14	Folia + Vento Y+	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.00	0.60	0.00	0.00	1.00
15	Folia + Vento Y-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-0.60	0.60	0.00	0.60	0.00	0.00	1.00
16	Vento Y+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
17	Vento Y-	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
18	DT+ + Folia	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00

19	DT- + Folla	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
20	Vento X+ + Folla X+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
21	Vento X- + Folla X-	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
22	Folla X+ + Vento X+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00	1.00
23	Folla X- + Vento X-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	-0.60	0.00	0.00	0.00	1.00
24	Vento X+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
25	Vento X+	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	1.00

3 Principali risultati dell'analisi frequenziale

L'analisi frequenziale è stata condotta su entrambi i modelli analizzati.

Si riportano i risultati del modello con soletta equivalente.

Legenda

R	ordinata dello spettro
Coeff.di Part.	coefficienti di partecipazione (in letteratura g_{ij})
$ L_i / L_1 $	rapporto percentuale fra i fattori di partecipazione del modo i-esimo e del primo modo
Mmi/Mmtot	percentuale massa modale efficace dell'i-esimo modo
Sum Mmi/Mmtot	percentuale cumulativa delle masse modali efficaci

Analisi spettrale via vettori di Ritz

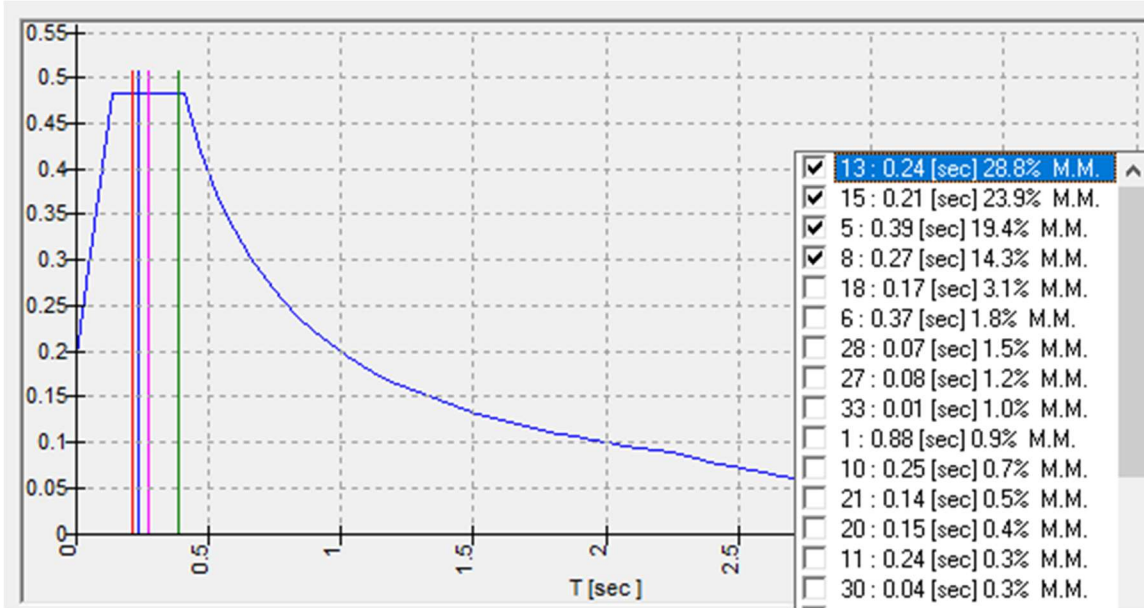
Smorzamento strutturale 5.0 %

risposta $S = CQC(S_i)$

segno risposta = $\text{sign}(\sum S_i)$

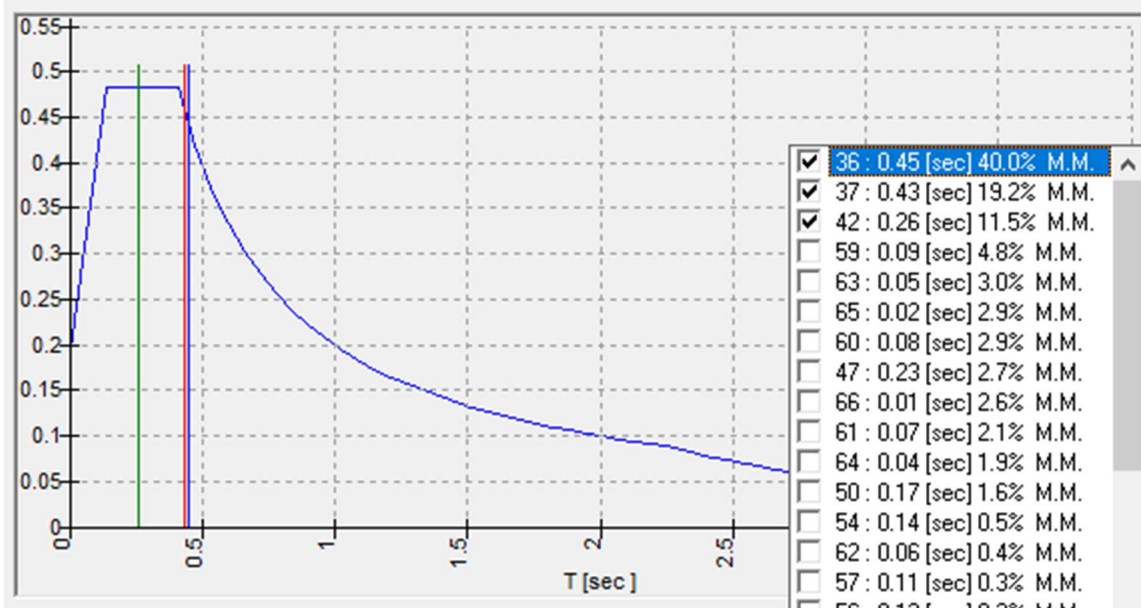
Direzione	Modo Principale	Periodo	% Massa Modale	% Massa Modale
d'ingresso		[sec]	Modo Principale	Totale
0.00000 [deg] SLV	13	0.24	28.8	99.4
90.00000 [deg] SLV	36	0.45	40.0	97.7
Verticale SLV V.	72	0.37	33.4	96.6

Risultati angolo di ingresso del sisma: 0.0000 [deg] SLV



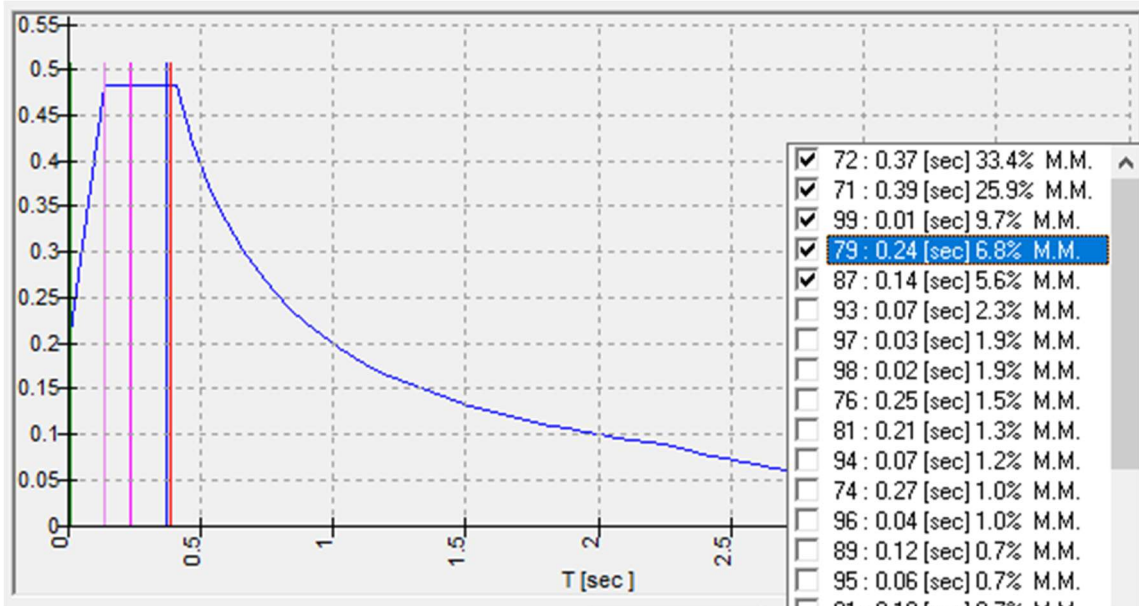
Modo	Periodo [sec]	R	Coefficiente di Partecipazione	% L _i / L ₁	Massa Modale	% M _{mi} /M _{mtot}	% Σ M _{mi} /M _{mtot}
13	0.24	0.482	6.56E+01		4.30E+03	28.8	28.8
15	0.21	0.482	5.97E+01	91	3.56E+03	23.9	52.7
5	0.39	0.482	-5.38E+01	82	2.89E+03	19.4	72.1
8	0.27	0.482	4.62E+01	70.5	2.14E+03	14.3	86.4
18	0.17	0.482	-2.16E+01	32.9	4.65E+02	3.1	89.5
6	0.37	0.482	1.65E+01	25.2	2.73E+02	1.8	91.4
28	0.07	0.345	-1.49E+01	22.8	2.23E+02	1.5	92.9
27	0.08	0.352	1.36E+01	20.7	1.85E+02	1.2	94.1
33	0.01	0.213	-1.20E+01	18.3	1.44E+02	1	95.1
.....							

Risultati angolo di ingresso del sisma: 90.00000 [deg] SLV



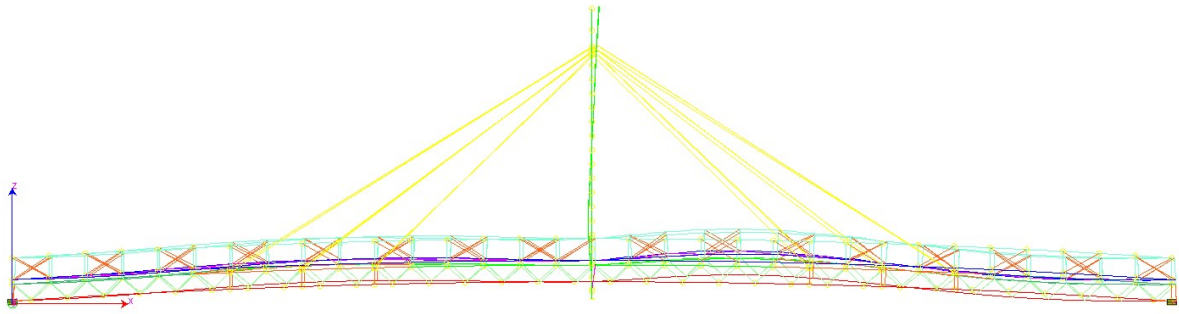
Modo	Periodo [sec]	R	Coefficiente di Partecipazione	% Li / L1	Massa Modale	% M _{mi} /M _{mtot}	% Σ M _{mi} /M _{mtot}
36	0.45	0.446	7.72E+01		5.96E+03	40	40
37	0.43	0.459	-5.35E+01	69.3	2.86E+03	19.2	59.2
42	0.26	0.482	-4.14E+01	53.7	1.72E+03	11.5	70.7
59	0.09	0.377	2.68E+01	34.8	7.21E+02	4.8	75.5
63	0.05	0.292	-2.12E+01	27.4	4.49E+02	3	78.5
65	0.02	0.241	2.09E+01	27.1	4.39E+02	2.9	81.5
60	0.08	0.366	-2.08E+01	27	4.34E+02	2.9	84.4
47	0.23	0.482	2.00E+01	25.9	4.01E+02	2.7	87
66	0.01	0.217	-1.98E+01	25.6	3.91E+02	2.6	89.7
61	0.07	0.349	-1.76E+01	22.8	3.11E+02	2.1	91.8
.....							

Risultati angolo di ingresso del sisma: Verticale SLV V.

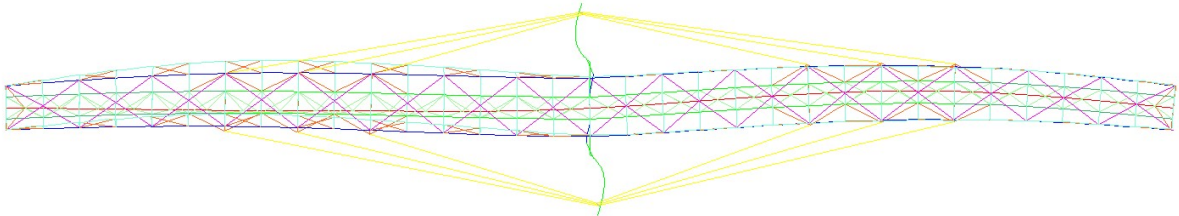


Modo	Periodo [sec]	R	Coefficiente di Partecipazione	% $ L_i / L_1 $	Massa Modale	% M_{mi}/M_{mtot}	% $\Sigma M_{mi}/M_{mtot}$
72	0.37	0.088	7.06E+01		4.98E+03	33.4	33.4
71	0.39	0.085	-6.22E+01	88.1	3.87E+03	25.9	59.3
99	0.01	0.119	-3.81E+01	54	1.45E+03	9.7	69
79	0.24	0.139	-3.20E+01	45.3	1.02E+03	6.8	75.9
87	0.14	0.218	2.90E+01	41.1	8.42E+02	5.6	81.5
93	0.07	0.218	-1.85E+01	26.2	3.42E+02	2.3	83.8
97	0.03	0.175	1.69E+01	24	2.86E+02	1.9	85.7
98	0.02	0.139	-1.66E+01	23.6	2.77E+02	1.9	87.6
76	0.25	0.13	-1.48E+01	20.9	2.18E+02	1.5	89.1
81	0.21	0.152	-1.38E+01	19.6	1.91E+02	1.3	90.3
94	0.07	0.218	1.36E+01	19.3	1.86E+02	1.2	91.6
74	0.27	0.12	1.20E+01	17	1.44E+02	1	92.5
96	0.04	0.204	1.19E+01	16.9	1.42E+02	1	93.5

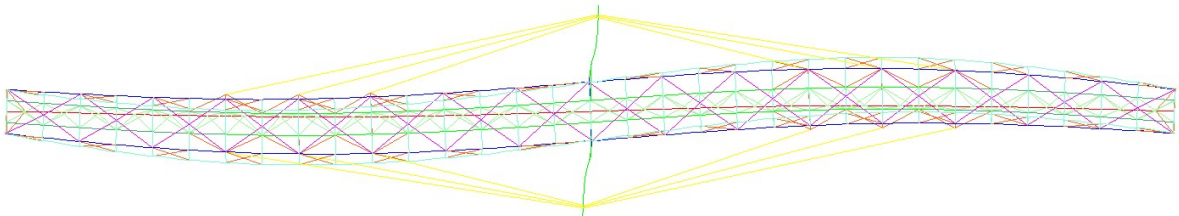
.....



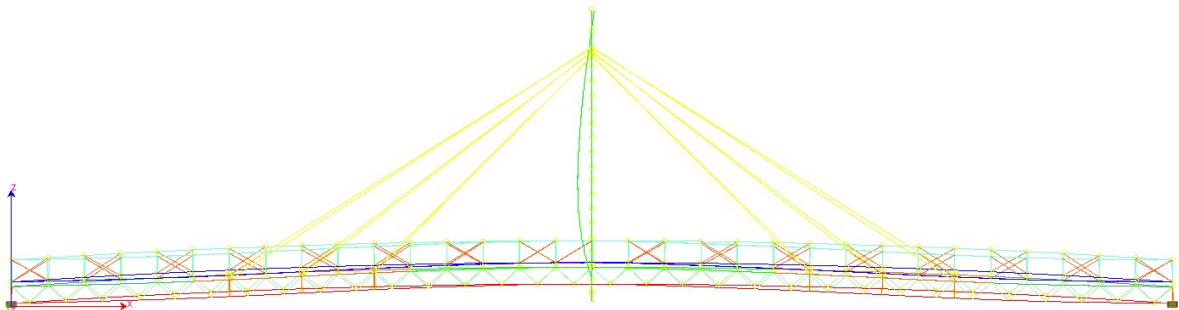
Modo nr. 13 – Traslazionale dir. X – T = 0.24 sec



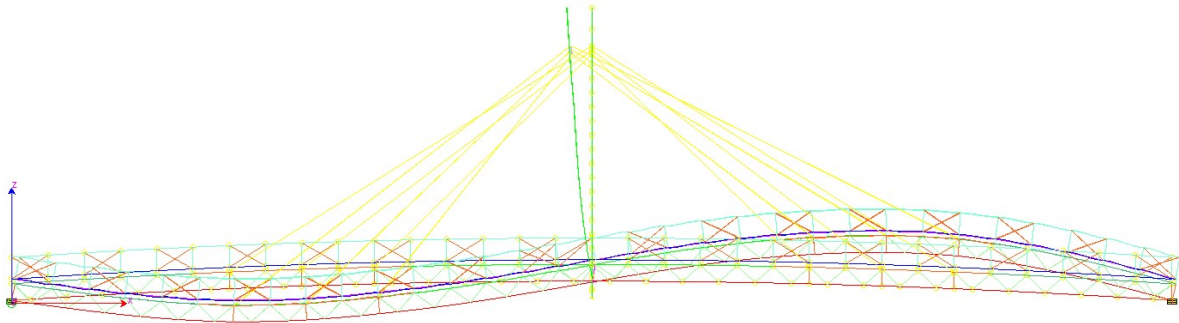
Modo nr. 36 – Traslazionale simmetrico dir. Y – T = 0.45 sec



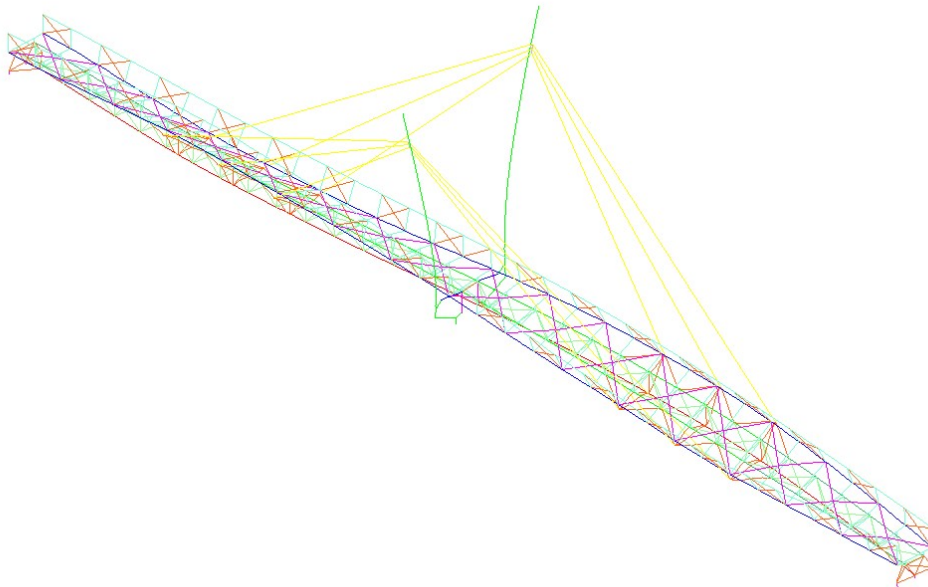
Modo nr. 2 – Traslazionale antisimmetrico dir. Y – T = 0.61 sec



Modo nr. 72 – Traslazionale simmetrico dir. Z – T = 0.37 sec



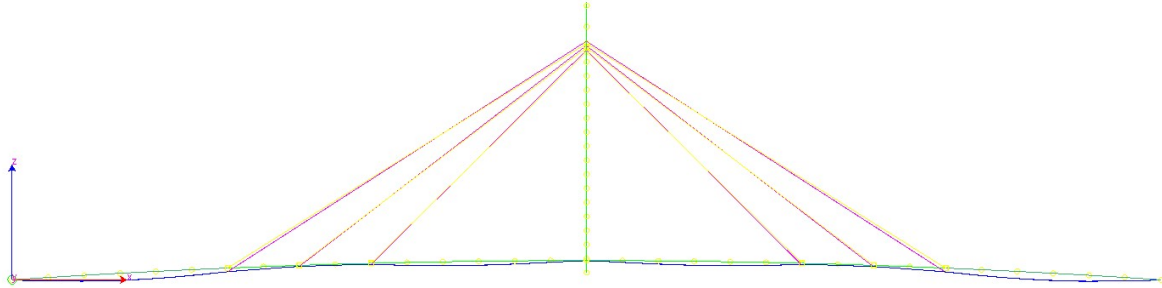
Modo nr. 1 – Traslazionale antimetrico dir. Z – T = 0.88 sec



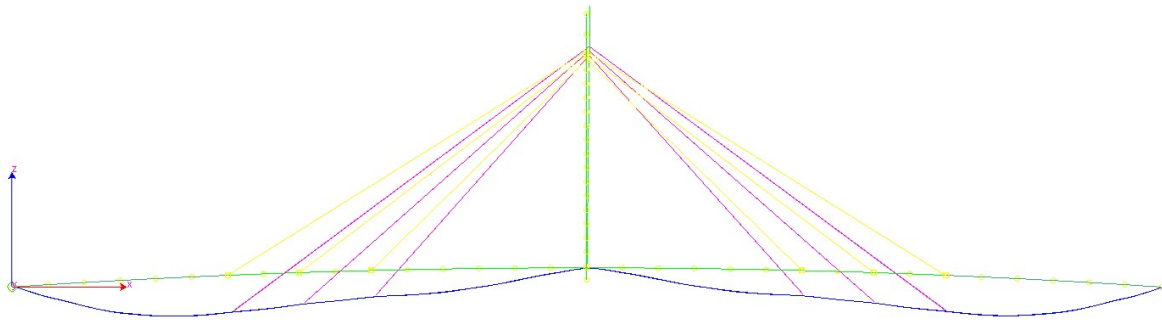
Modo nr. 4 – Torsionale antimetrico – T = 0.43 sec

4 Principali risultati dell'analisi statica e dinamica

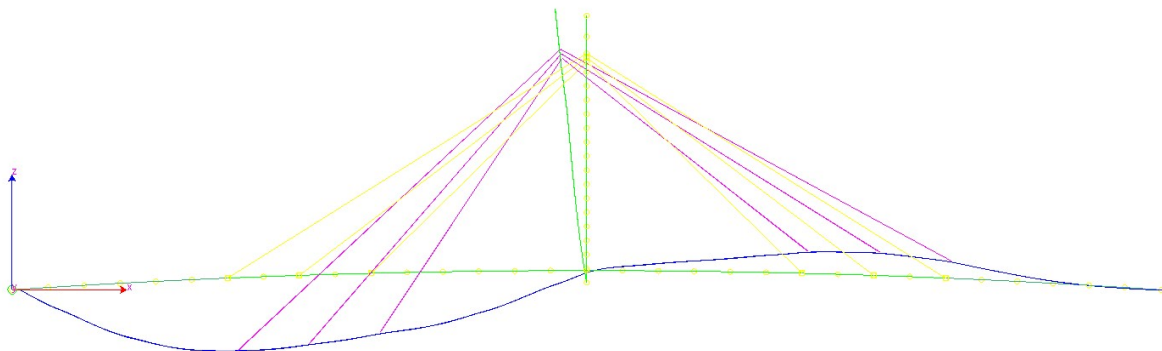
4.1 Deformate e spostamenti



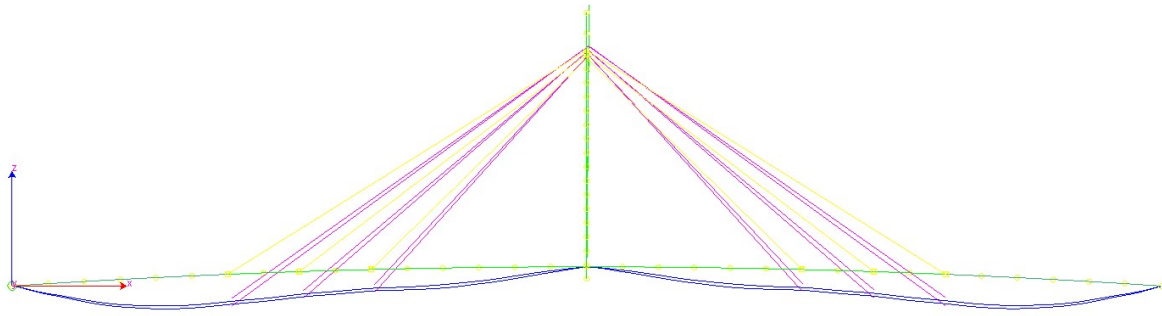
Piloni, stralli e correnti superiori - Combinazione 1 SLE - Permanenti



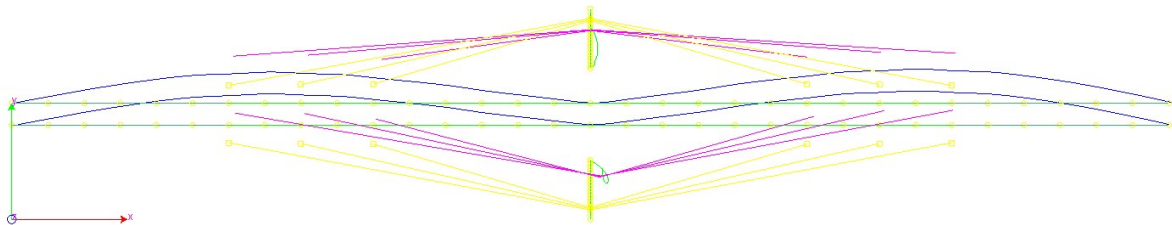
Piloni, stralli e correnti superiori - Combinazione 2 SLE - Folla



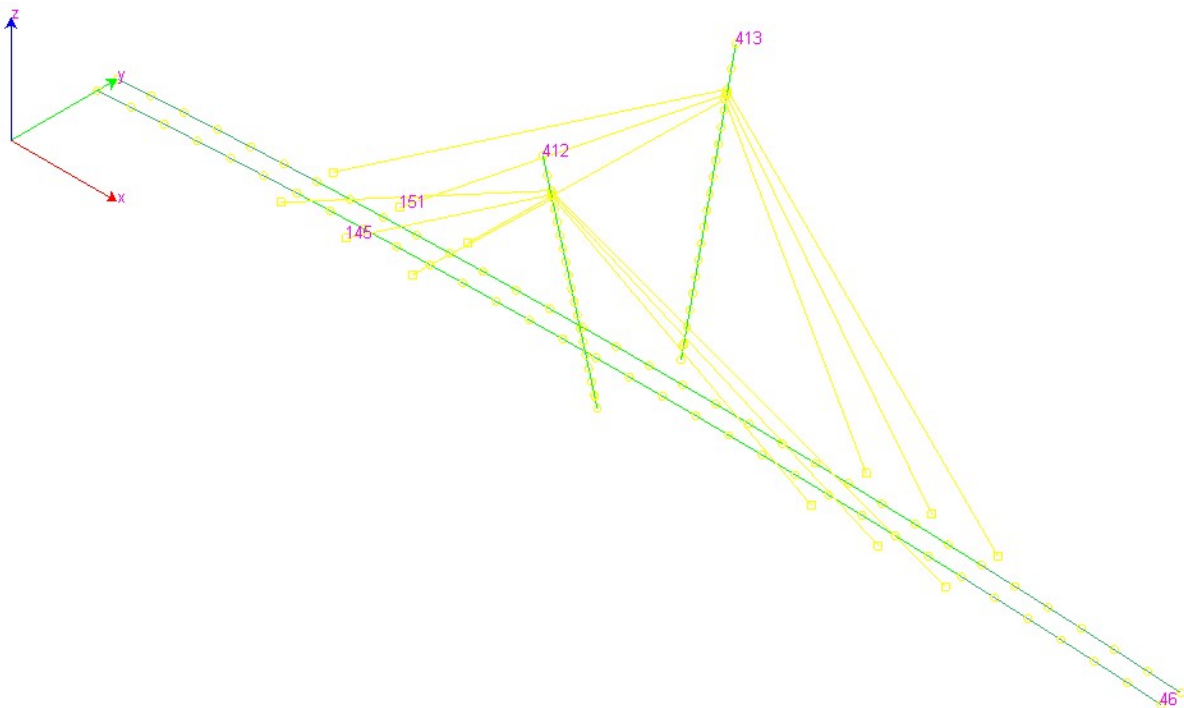
Piloni, stralli e correnti superiori - Combinazione 3 SLE – Folla X-



Piloni, stralli e correnti superiori - Combinazione 6 SLE – Folla Y+



Piloni, stralli e correnti superiori - Combinazione 10 SLV – Earthquake X+Y+Z+



Nodi con spostamenti monitorati

VALORI ESTRATTI DA MODELLO SENZA SOLETTA EQUIVALENTE

Nodo n. 412 – Sommità pilone

Combinazioni SLU

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
1	0.0	3.3	0.7	-0.26427	-0.00094	0.00551
2	0.6	7.2	1.5	-0.55358	-0.05757	0.35022
3	-15.1	5.3	1.1	-0.41240	0.63144	-4.88107
4	15.7	5.2	1.1	-0.40545	-0.68994	5.23680
5	4.5	5.3	1.1	-0.40972	-0.27978	1.90048
6	0.4	4.4	0.9	-0.34659	-0.03330	0.20389
7	0.2	6.1	1.3	-0.47126	-0.02520	0.15184
8	-3.3	5.3	1.1	-0.41246	0.19669	-1.34837
9	0.4	7.3	1.5	-0.55925	-0.05534	0.31649
10	0.8	7.1	1.5	-0.54790	-0.05979	0.38394
11	0.6	7.2	1.5	-0.55343	-0.05776	0.35144
12	0.6	11.9	2.7	-0.87138	-0.05015	0.30922
13	0.3	0.2	-0.1	-0.06867	-0.03227	0.19214
14	0.7	10.9	2.4	-0.81369	-0.06671	0.40835
15	0.6	3.9	0.7	-0.33207	-0.05598	0.33810
16	0.1	8.8	2.0	-0.63784	-0.00180	0.01489
17	-0.2	-2.8	-0.8	0.16487	0.01608	-0.10218
18	11.8	4.9	1.0	-0.38410	-1.60983	8.22229
19	-11.3	4.9	1.0	-0.38236	1.56138	-7.92775
20	17.1	5.5	1.2	-0.42652	-1.40724	8.28360
21	-16.5	5.5	1.2	-0.42993	1.34117	-7.88186
22	2.2	3.0	0.6	-0.23944	-1.18205	4.99601
23	-2.4	3.0	0.6	-0.23353	1.19633	-5.08330
24	5.0	5.1	3.1	-0.44330	-0.48152	2.93275
25	2.8	5.4	2.2	-0.44072	-0.26997	1.64413

Combinazioni SLV

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
26	-0.1	2.6	0.5	-0.20432	0.01344	-0.08199
27	1.0	4.0	0.9	-0.30848	-1.27533	4.97268
28	0.9	3.8	0.8	-0.29025	-1.33361	4.75605

29	0.7	3.0	0.6	-0.23800	-1.22127	4.71349
30	0.7	2.8	0.6	-0.21977	-1.27955	4.49686
31	-0.9	2.4	0.5	-0.18887	1.30643	-4.66084
32	-1.0	2.1	0.4	-0.17064	1.24815	-4.87747
33	-1.2	1.4	0.2	-0.11839	1.36049	-4.92002
34	-1.3	1.1	0.2	-0.10016	1.30221	-5.13665
35	0.6	4.6	1.0	-0.34885	-0.43477	1.90333
36	0.6	4.4	1.0	-0.33062	-0.49305	1.68670
37	0.1	4.1	0.9	-0.31296	0.33975	-0.98672
38	0.0	3.9	0.8	-0.29473	0.28147	-1.20335
39	-0.3	1.3	0.2	-0.11391	-0.25459	1.03938
40	-0.3	1.0	0.2	-0.09567	-0.31287	0.82275
41	-0.9	0.8	0.1	-0.07802	0.51994	-1.85067
42	-0.9	0.5	0.0	-0.05979	0.46166	-2.06730
43	0.4	3.8	0.8	-0.28789	-0.30372	1.85368
44	0.1	2.8	0.6	-0.21740	-0.24966	1.59450
45	-0.2	3.2	0.7	-0.25200	0.47081	-1.03637
46	-0.5	2.2	0.5	-0.18152	0.52486	-1.29556
47	0.2	2.9	0.6	-0.22712	-0.49798	1.13158
48	-0.1	1.9	0.4	-0.15664	-0.44393	0.87240
49	-0.4	2.4	0.5	-0.19123	0.27654	-1.75847
50	-0.7	1.4	0.3	-0.12075	0.33060	-2.01766

Combinazioni SLE

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
51	-0.1	2.6	0.5	-0.20432	0.01344	-0.08199
52	0.3	5.4	1.1	-0.41862	-0.02851	0.17335
53	-5.5	4.7	1.0	-0.36633	0.22668	-1.76416
54	5.9	4.7	1.0	-0.36376	-0.26272	1.98320
55	3.2	4.0	0.8	-0.31207	-0.19311	1.32169
56	0.2	4.4	0.9	-0.34196	-0.01952	0.11916
57	0.2	5.0	1.1	-0.38814	-0.01652	0.09988
58	-3.1	4.0	0.8	-0.31088	0.17804	-1.23032
59	0.2	5.5	1.2	-0.42283	-0.02686	0.14837
60	0.4	5.4	1.1	-0.41442	-0.03016	0.19833
61	0.3	5.4	1.1	-0.41852	-0.02864	0.17416
62	0.3	8.8	2.0	-0.64335	-0.02608	0.16134

63	0.0	0.4	-0.0	-0.06532	-0.00576	0.03216
64	0.4	7.9	1.7	-0.59203	-0.03460	0.21210
65	0.3	8.0	1.8	-0.59713	-0.02794	0.16848
66	-0.0	6.8	1.5	-0.49333	0.00328	-0.01740
67	-0.0	6.8	1.5	-0.49333	0.00328	-0.01740
68	3.3	4.2	2.3	-0.35796	-0.31366	1.91036
69	1.8	4.4	1.6	-0.35624	-0.17262	1.05128
70	5.7	4.4	0.9	-0.33934	-0.97687	4.74898
71	-5.4	4.3	0.9	-0.33721	0.95130	-4.59372
72	6.8	4.9	1.0	-0.37781	-0.74092	4.01440
73	-6.4	4.9	1.0	-0.37802	0.69984	-3.76469
74	1.4	2.9	0.6	-0.22773	-0.78355	3.30335
75	-1.6	2.8	0.6	-0.22380	0.80204	-3.41620

Nodo n. 413 – Sommità pilone

Combinazioni SLU

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
1	0.0	-3.3	0.7	0.26540	-0.00148	-0.00915
2	0.6	-7.2	1.5	0.55749	-0.05927	-0.36127
3	-15.1	-5.3	1.1	0.41392	0.60323	4.74622
4	15.8	-5.3	1.1	0.40897	-0.66398	-5.11664
5	-3.8	-5.3	1.1	0.41058	0.21218	1.48009
6	0.3	-6.1	1.3	0.47387	-0.02919	-0.17622
7	0.3	-4.5	0.9	0.34902	-0.03157	-0.19420
8	5.5	-5.5	1.1	0.42380	-0.32314	-2.22628
9	0.4	-7.3	1.5	0.56306	-0.05715	-0.32788
10	0.8	-7.2	1.5	0.55191	-0.06138	-0.39466
11	0.6	-7.2	1.5	0.55752	-0.05955	-0.36308
12	0.3	-0.3	-0.1	0.07093	-0.03597	-0.21413
13	0.6	-12.0	2.7	0.87533	-0.04919	-0.30505
14	0.6	-4.0	0.7	0.33566	-0.05916	-0.35749
15	0.7	-11.0	2.4	0.81829	-0.06709	-0.41204
16	-0.2	2.8	-0.8	-0.16499	0.01339	0.08664
17	0.0	-8.9	2.0	0.63940	0.00016	-0.00428
18	11.8	-5.0	1.0	0.38705	-1.59099	-8.13552
19	-11.3	-4.9	1.0	0.38395	1.54050	7.82762

20	17.2	-5.5	1.2	0.43028	-1.37919	-8.15376
21	-16.5	-5.6	1.2	0.43158	1.31072	7.73634
22	2.2	-3.1	0.6	0.24024	-1.17880	-4.98154
23	-2.4	-3.0	0.6	0.23417	1.19236	5.06389
24	5.0	-5.1	3.1	0.44547	-0.48437	-2.94918
25	2.8	-5.4	2.2	0.44319	-0.27206	-1.65661

Combinazioni SLV

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
26	-0.1	-2.6	0.5	0.20473	0.01321	0.08034
27	0.7	-2.9	0.6	0.22575	-1.21524	-4.69819
28	0.7	-2.6	0.5	0.20720	-1.27298	-4.48349
29	1.0	-3.9	0.8	0.29639	-1.26611	-4.93403
30	0.9	-3.6	0.8	0.27785	-1.32385	-4.71933
31	-1.2	-1.6	0.3	0.13161	1.35026	4.88001
32	-1.2	-1.3	0.2	0.11307	1.29252	5.09472
33	-0.9	-2.6	0.5	0.20225	1.29940	4.64417
34	-1.0	-2.3	0.5	0.18371	1.24166	4.85887
35	-0.2	-1.2	0.2	0.11038	-0.25797	-1.07067
36	-0.3	-1.0	0.1	0.09184	-0.31571	-0.85596
37	-0.8	-0.8	0.1	0.08214	0.51168	1.80279
38	-0.8	-0.6	0.1	0.06360	0.45394	2.01750
39	0.6	-4.6	1.0	0.34586	-0.42753	-1.85681
40	0.5	-4.3	0.9	0.32732	-0.48527	-1.64211
41	-0.0	-4.2	0.9	0.31762	0.34212	1.01665
42	-0.1	-3.9	0.9	0.29907	0.28438	1.23135
43	0.1	-2.7	0.6	0.21443	-0.24995	-1.59630
44	0.4	-3.7	0.8	0.28507	-0.30082	-1.83215
45	-0.5	-2.3	0.5	0.18619	0.51970	1.27716
46	-0.2	-3.3	0.7	0.25683	0.46883	1.04131
47	-0.1	-1.8	0.4	0.15262	-0.44242	-0.88063
48	0.2	-2.8	0.6	0.22327	-0.49329	-1.11647
49	-0.6	-1.4	0.3	0.12438	0.32723	1.99283
50	-0.4	-2.5	0.5	0.19502	0.27636	1.75699

Combinazioni SLE

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
-------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------

51	-0.1	-2.6	0.5	0.20473	0.01321	0.08034
52	0.3	-5.5	1.2	0.42109	-0.02960	-0.18049
53	-5.5	-4.8	1.0	0.36792	0.21577	1.71118
54	5.9	-4.7	1.0	0.36608	-0.25357	-1.94173
55	-2.9	-4.0	0.8	0.31227	0.17147	1.18348
56	0.2	-5.1	1.1	0.39012	-0.01846	-0.11195
57	0.2	-4.4	0.9	0.34388	-0.01934	-0.11861
58	3.1	-4.0	0.8	0.31355	-0.18786	-1.28363
59	0.2	-5.5	1.2	0.42522	-0.02803	-0.15575
60	0.5	-5.4	1.1	0.41696	-0.03117	-0.20522
61	0.3	-5.5	1.2	0.42111	-0.02979	-0.18169
62	0.1	-1.0	0.1	0.10970	-0.01663	-0.09804
63	0.2	-8.2	1.8	0.60266	-0.01688	-0.10643
64	0.3	-3.3	0.6	0.27320	-0.02952	-0.17797
65	0.4	-3.3	0.6	0.26871	-0.03434	-0.21114
66	-0.2	1.0	-0.3	-0.04175	0.01333	0.08454
67	-0.2	1.0	-0.3	-0.04175	0.01333	0.08454
68	3.3	-4.2	2.3	0.35939	-0.31557	-1.92141
69	1.8	-4.4	1.6	0.35787	-0.17403	-1.05970
70	5.7	-4.4	0.9	0.34135	-0.96821	-4.70970
71	-5.4	-4.4	0.9	0.33859	0.94110	4.54429
72	6.9	-4.9	1.0	0.38029	-0.73037	-3.96648
73	-6.4	-4.9	1.0	0.37969	0.68743	3.70459
74	1.4	-2.9	0.6	0.22840	-0.78146	-3.29424
75	-1.6	-2.8	0.6	0.22436	0.79931	3.40271

Nodo n. 145 – Estremo inferiore strallo intermedio

Combinazioni SLU

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
1	0.3	-0.1	-1.6	0.00000	0.00000	0.00000
2	1.1	-0.3	-7.6	0.00000	0.00000	0.00000
3	3.1	-1.0	-25.2	0.00000	0.00000	0.00000
4	-1.6	0.6	16.0	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.5	3.2	1.2	0.00000	0.00000	0.00000
6	0.6	2.1	-2.5	0.00000	0.00000	0.00000
7	0.9	-2.4	-6.7	0.00000	0.00000	0.00000

8	0.8	-3.6	-9.6	0.00000	0.00000	0.00000
9	1.4	-0.3	-8.2	0.00000	0.00000	0.00000
10	0.9	-0.3	-6.9	0.00000	0.00000	0.00000
11	1.1	-0.3	-7.6	0.00000	0.00000	0.00000
12	0.8	1.8	-5.0	0.00000	0.00000	0.00000
13	1.0	-2.3	-6.7	0.00000	0.00000	0.00000
14	1.1	0.9	-7.5	0.00000	0.00000	0.00000
15	1.2	-1.5	-8.5	0.00000	0.00000	0.00000
16	0.1	2.0	0.1	0.00000	0.00000	0.00000
17	0.3	-2.1	-1.6	0.00000	0.00000	0.00000
18	-0.9	0.5	10.7	0.00000	0.00000	0.00000
19	2.2	-0.8	-18.8	0.00000	0.00000	0.00000
20	-1.7	0.7	17.0	0.00000	0.00000	0.00000
21	3.2	-1.1	-27.0	0.00000	0.00000	0.00000
22	0.1	0.1	1.7	0.00000	0.00000	0.00000
23	0.4	-0.2	-3.2	0.00000	0.00000	0.00000
24	2.8	-0.5	-5.3	0.00000	0.00000	0.00000
25	1.9	-0.3	-5.2	0.00000	0.00000	0.00000

Combinazioni SLV

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
26	0.1	-0.0	-0.1	0.00000	0.00000	0.00000
27	0.5	1.5	-0.4	0.00000	0.00000	0.00000
28	0.4	1.5	-0.2	0.00000	0.00000	0.00000
29	0.6	-1.4	-1.7	0.00000	0.00000	0.00000
30	0.5	-1.4	-1.6	0.00000	0.00000	0.00000
31	-0.3	1.3	1.4	0.00000	0.00000	0.00000
32	-0.3	1.3	1.5	0.00000	0.00000	0.00000
33	-0.2	-1.6	-0.0	0.00000	0.00000	0.00000
34	-0.2	-1.6	0.2	0.00000	0.00000	0.00000
35	0.1	4.7	1.9	0.00000	0.00000	0.00000
36	0.1	4.7	2.0	0.00000	0.00000	0.00000
37	-0.1	4.7	2.4	0.00000	0.00000	0.00000
38	-0.2	4.7	2.6	0.00000	0.00000	0.00000
39	0.4	-4.8	-2.8	0.00000	0.00000	0.00000
40	0.4	-4.8	-2.6	0.00000	0.00000	0.00000
41	0.2	-4.8	-2.2	0.00000	0.00000	0.00000

42	0.1	-4.8	-2.1	0.00000	0.00000	0.00000
43	0.2	1.4	0.0	0.00000	0.00000	0.00000
44	0.3	-1.4	-1.4	0.00000	0.00000	0.00000
45	0.0	1.4	0.6	0.00000	0.00000	0.00000
46	0.1	-1.5	-0.8	0.00000	0.00000	0.00000
47	0.1	1.4	0.6	0.00000	0.00000	0.00000
48	0.2	-1.4	-0.8	0.00000	0.00000	0.00000
49	-0.1	1.4	1.1	0.00000	0.00000	0.00000
50	-0.0	-1.5	-0.2	0.00000	0.00000	0.00000

Combinazioni SLE

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
51	0.1	-0.0	-0.1	0.00000	0.00000	0.00000
52	0.7	-0.2	-4.5	0.00000	0.00000	0.00000
53	1.4	-0.5	-11.0	0.00000	0.00000	0.00000
54	-0.3	0.2	4.2	0.00000	0.00000	0.00000
55	0.3	2.4	2.0	0.00000	0.00000	0.00000
56	0.5	0.7	-2.6	0.00000	0.00000	0.00000
57	0.6	-1.0	-4.2	0.00000	0.00000	0.00000
58	0.6	-2.6	-6.6	0.00000	0.00000	0.00000
59	0.9	-0.2	-5.0	0.00000	0.00000	0.00000
60	0.5	-0.2	-4.0	0.00000	0.00000	0.00000
61	0.7	-0.2	-4.5	0.00000	0.00000	0.00000
62	0.5	1.2	-3.1	0.00000	0.00000	0.00000
63	0.5	-1.5	-3.3	0.00000	0.00000	0.00000
64	0.7	0.6	-4.4	0.00000	0.00000	0.00000
65	0.8	-1.0	-5.2	0.00000	0.00000	0.00000
66	0.1	1.3	0.0	0.00000	0.00000	0.00000
67	0.1	1.3	0.0	0.00000	0.00000	0.00000
68	1.9	-0.3	-3.2	0.00000	0.00000	0.00000
69	1.2	-0.2	-3.2	0.00000	0.00000	0.00000
70	-0.2	0.2	4.1	0.00000	0.00000	0.00000
71	1.2	-0.4	-9.8	0.00000	0.00000	0.00000
72	-0.3	0.2	4.9	0.00000	0.00000	0.00000
73	1.5	-0.5	-12.3	0.00000	0.00000	0.00000
74	0.1	0.0	1.1	0.00000	0.00000	0.00000
75	0.3	-0.1	-2.2	0.00000	0.00000	0.00000

Nodo n. 151 – Estremo inferiore strallo intermedio

Combinazioni SLU

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
1	0.3	-0.1	-1.6	0.00000	0.00000	0.00000
2	1.1	-0.3	-7.4	0.00000	0.00000	0.00000
3	3.1	-1.0	-24.6	0.00000	0.00000	0.00000
4	-1.6	0.5	15.7	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.9	3.1	-10.1	0.00000	0.00000	0.00000
6	0.9	2.0	-6.5	0.00000	0.00000	0.00000
7	0.5	-2.5	-2.4	0.00000	0.00000	0.00000
8	0.4	-3.7	2.3	0.00000	0.00000	0.00000
9	1.4	-0.3	-8.1	0.00000	0.00000	0.00000
10	0.8	-0.4	-6.7	0.00000	0.00000	0.00000
11	1.1	-0.4	-7.3	0.00000	0.00000	0.00000
12	1.0	1.8	-6.5	0.00000	0.00000	0.00000
13	0.8	-2.3	-4.9	0.00000	0.00000	0.00000
14	1.2	0.9	-8.2	0.00000	0.00000	0.00000
15	1.1	-1.6	-7.3	0.00000	0.00000	0.00000
16	0.3	2.0	-1.5	0.00000	0.00000	0.00000
17	0.1	-2.2	0.1	0.00000	0.00000	0.00000
18	-0.9	0.3	10.5	0.00000	0.00000	0.00000
19	2.2	-0.8	-18.4	0.00000	0.00000	0.00000
20	-1.7	0.5	16.8	0.00000	0.00000	0.00000
21	3.2	-1.0	-26.4	0.00000	0.00000	0.00000
22	0.1	0.0	1.6	0.00000	0.00000	0.00000
23	0.4	-0.2	-3.1	0.00000	0.00000	0.00000
24	2.8	-0.1	-5.1	0.00000	0.00000	0.00000
25	1.8	-0.2	-5.1	0.00000	0.00000	0.00000

Combinazioni SLV

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
26	0.1	-0.1	-0.1	0.00000	0.00000	0.00000
27	0.6	1.4	-1.7	0.00000	0.00000	0.00000
28	0.5	1.4	-1.5	0.00000	0.00000	0.00000

29	0.5	-1.4	-0.4	0.00000	0.00000	0.00000
30	0.4	-1.4	-0.2	0.00000	0.00000	0.00000
31	-0.2	1.3	0.0	0.00000	0.00000	0.00000
32	-0.2	1.3	0.2	0.00000	0.00000	0.00000
33	-0.3	-1.6	1.3	0.00000	0.00000	0.00000
34	-0.3	-1.6	1.5	0.00000	0.00000	0.00000
35	0.4	4.7	-2.6	0.00000	0.00000	0.00000
36	0.4	4.7	-2.4	0.00000	0.00000	0.00000
37	0.2	4.7	-2.1	0.00000	0.00000	0.00000
38	0.2	4.7	-1.9	0.00000	0.00000	0.00000
39	0.1	-4.8	1.8	0.00000	0.00000	0.00000
40	0.0	-4.8	2.0	0.00000	0.00000	0.00000
41	-0.2	-4.9	2.3	0.00000	0.00000	0.00000
42	-0.2	-4.9	2.5	0.00000	0.00000	0.00000
43	0.3	1.4	-1.3	0.00000	0.00000	0.00000
44	0.2	-1.5	0.0	0.00000	0.00000	0.00000
45	0.1	1.3	-0.8	0.00000	0.00000	0.00000
46	0.0	-1.5	0.5	0.00000	0.00000	0.00000
47	0.2	1.4	-0.7	0.00000	0.00000	0.00000
48	0.1	-1.5	0.6	0.00000	0.00000	0.00000
49	0.0	1.3	-0.2	0.00000	0.00000	0.00000
50	-0.1	-1.5	1.1	0.00000	0.00000	0.00000

Combinazioni SLE

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
51	0.1	-0.1	-0.1	0.00000	0.00000	0.00000
52	0.7	-0.2	-4.4	0.00000	0.00000	0.00000
53	1.4	-0.5	-10.8	0.00000	0.00000	0.00000
54	-0.3	0.1	4.2	0.00000	0.00000	0.00000
55	0.5	2.4	-6.4	0.00000	0.00000	0.00000
56	0.6	0.6	-4.1	0.00000	0.00000	0.00000
57	0.5	-1.0	-2.5	0.00000	0.00000	0.00000
58	0.3	-2.7	1.9	0.00000	0.00000	0.00000
59	0.9	-0.2	-4.9	0.00000	0.00000	0.00000
60	0.5	-0.2	-3.9	0.00000	0.00000	0.00000
61	0.7	-0.2	-4.4	0.00000	0.00000	0.00000
62	0.6	1.2	-4.1	0.00000	0.00000	0.00000

63	0.4	-1.5	-2.1	0.00000	0.00000	0.00000
64	0.8	0.6	-5.0	0.00000	0.00000	0.00000
65	0.7	-1.0	-4.2	0.00000	0.00000	0.00000
66	0.2	1.3	-1.1	0.00000	0.00000	0.00000
67	0.2	1.3	-1.1	0.00000	0.00000	0.00000
68	1.9	-0.1	-3.1	0.00000	0.00000	0.00000
69	1.2	-0.1	-3.1	0.00000	0.00000	0.00000
70	-0.2	0.1	4.0	0.00000	0.00000	0.00000
71	1.2	-0.4	-9.6	0.00000	0.00000	0.00000
72	-0.3	0.1	4.9	0.00000	0.00000	0.00000
73	1.5	-0.5	-12.0	0.00000	0.00000	0.00000
74	0.1	-0.0	1.1	0.00000	0.00000	0.00000
75	0.3	-0.2	-2.1	0.00000	0.00000	0.00000

Nodo n. 46 – Estremo libero impalcato

Combinazioni SLU

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
1	-0.4	0.0	-0.0	0.00828	-0.25052	0.01995
2	-0.2	0.0	-0.1	0.02125	-0.72466	0.04673
3	1.8	-0.0	-0.0	0.00105	0.55168	-0.01694
4	-2.3	0.0	-0.1	0.02847	-1.52686	0.08363
5	-0.2	0.0	-0.1	0.35865	-0.65197	0.21461
6	-0.3	0.0	-0.0	-0.18864	-0.39045	-0.13925
7	-0.2	0.0	-0.1	0.21817	-0.58473	0.20594
8	-0.4	0.0	-0.0	-0.35841	-0.37959	-0.16405
9	0.2	0.0	-0.1	0.02063	-0.69364	0.04510
10	-0.5	0.0	-0.1	0.02187	-0.75568	0.04837
11	-0.1	0.0	-0.1	0.02132	-0.72530	0.04812
12	-0.3	0.0	-0.1	-0.05759	-0.55071	-0.12394
13	-0.1	0.0	-0.1	0.09260	-0.62478	0.20194
14	-0.2	0.0	-0.1	-0.02294	-0.73408	-0.04925
15	-0.1	0.0	-0.1	0.06717	-0.77853	0.14629
16	-0.5	0.0	-0.0	-0.06808	-0.14355	-0.14724
17	-0.3	-0.0	-0.0	0.08211	-0.21762	0.17865
18	-1.6	0.0	-0.1	0.02283	-1.18460	0.06627
19	1.0	0.0	-0.0	0.00439	0.29359	-0.00434

20	-2.3	0.0	-0.1	0.02994	-1.62783	0.08850
21	1.8	-0.0	-0.0	0.00132	0.58935	-0.01823
22	-0.4	0.0	-0.0	0.00801	-0.29611	0.02085
23	-0.3	0.0	-0.0	0.00602	-0.06506	0.01057
24	7.7	-0.1	0.1	0.01607	-0.48521	0.03420
25	4.0	-0.0	-0.0	0.01606	-0.50880	0.03506

Combinazioni SLV

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
26	-0.4	0.0	-0.0	0.00557	-0.12784	0.01273
27	0.2	0.0	-0.0	-0.03022	-0.06038	-0.06079
28	0.2	0.0	-0.0	-0.03096	-0.04449	-0.06147
29	0.3	0.0	-0.0	0.02339	-0.08766	0.07780
30	0.3	0.0	-0.0	0.02264	-0.07178	0.07713
31	-1.1	0.0	-0.0	-0.01150	-0.18390	-0.05167
32	-1.1	0.0	-0.0	-0.01225	-0.16802	-0.05235
33	-1.0	0.0	-0.0	0.04210	-0.21119	0.08692
34	-1.0	0.0	-0.0	0.04136	-0.19531	0.08625
35	-0.4	0.0	-0.0	-0.08621	-0.07177	-0.21929
36	-0.4	0.0	-0.0	-0.08696	-0.05589	-0.21997
37	-0.8	0.0	-0.0	-0.08060	-0.10883	-0.21656
38	-0.8	0.0	-0.0	-0.08134	-0.09295	-0.21723
39	-0.0	-0.0	-0.0	0.09248	-0.16273	0.24269
40	-0.0	-0.0	-0.0	0.09174	-0.14685	0.24201
41	-0.4	-0.0	-0.0	0.09810	-0.19979	0.24543
42	-0.4	-0.0	-0.0	0.09735	-0.18391	0.24475
43	-0.2	0.0	-0.0	-0.02280	-0.12214	-0.05681
44	-0.1	0.0	-0.0	0.03081	-0.14943	0.08178
45	-0.6	0.0	-0.0	-0.01718	-0.15920	-0.05408
46	-0.5	0.0	-0.0	0.03642	-0.18648	0.08452
47	-0.3	0.0	-0.0	-0.02528	-0.06920	-0.05906
48	-0.2	0.0	-0.0	0.02832	-0.09649	0.07953
49	-0.7	0.0	-0.0	-0.01967	-0.10626	-0.05633
50	-0.6	0.0	-0.0	0.03394	-0.13355	0.08227

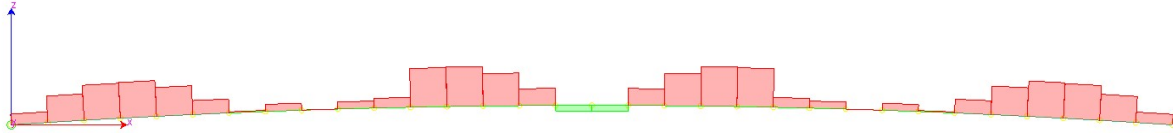
Combinazioni SLE

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
-------	------------	------------	------------	-------------	-------------	-------------

51	-0.4	0.0	-0.0	0.00557	-0.12784	0.01273
52	-0.3	0.0	-0.1	0.01518	-0.47906	0.03256
53	0.5	0.0	-0.0	0.00770	-0.00634	0.00898
54	-1.1	0.0	-0.1	0.01786	-0.77617	0.04623
55	-0.3	0.0	-0.1	0.26511	-0.42521	0.15692
56	-0.3	0.0	-0.0	-0.06256	-0.35527	-0.03632
57	-0.3	0.0	-0.1	0.08811	-0.42723	0.09153
58	-0.4	0.0	-0.0	-0.24436	-0.18169	-0.11163
59	0.0	0.0	-0.1	0.01472	-0.45608	0.03135
60	-0.5	0.0	-0.1	0.01564	-0.50203	0.03377
61	-0.3	0.0	-0.1	0.01523	-0.47948	0.03349
62	-0.4	0.0	-0.0	-0.03680	-0.38416	-0.08003
63	-0.2	0.0	-0.0	0.06140	-0.36322	0.13326
64	-0.3	0.0	-0.1	-0.01428	-0.48534	-0.03142
65	-0.2	0.0	-0.1	0.05075	-0.51720	0.09522
66	-0.5	0.0	-0.0	-0.04353	-0.13831	-0.09392
67	-0.5	0.0	-0.0	-0.04353	-0.13831	-0.09392
68	5.0	-0.1	0.0	0.01230	-0.34050	0.02540
69	2.5	-0.0	-0.0	0.01230	-0.35622	0.02598
70	-0.9	0.0	-0.1	0.01579	-0.69385	0.04159
71	0.3	0.0	-0.0	0.00736	-0.00093	0.00867
72	-1.1	0.0	-0.1	0.01883	-0.84348	0.04947
73	0.5	0.0	-0.0	0.00788	0.01878	0.00812
74	-0.4	0.0	-0.0	0.00720	-0.24002	0.01814
75	-0.4	0.0	-0.0	0.00587	-0.08599	0.01129

4.2 Sollecitazioni

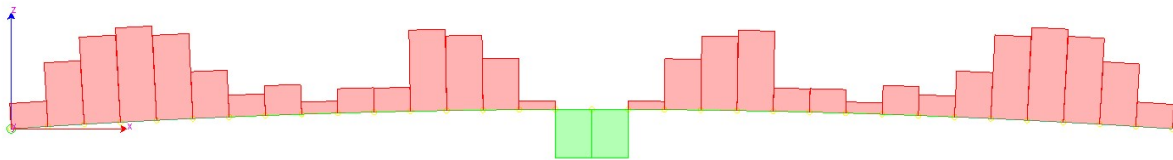
VALORI ESTRATTI DA MODELLO SENZA SOLETTA EQUIVALENTE



Sforzo assiale Corrente superiore – Comb. 1 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
301 Travi 203 199 271 228 223	-50	
311 Travi 95 79 244 59 47 67		

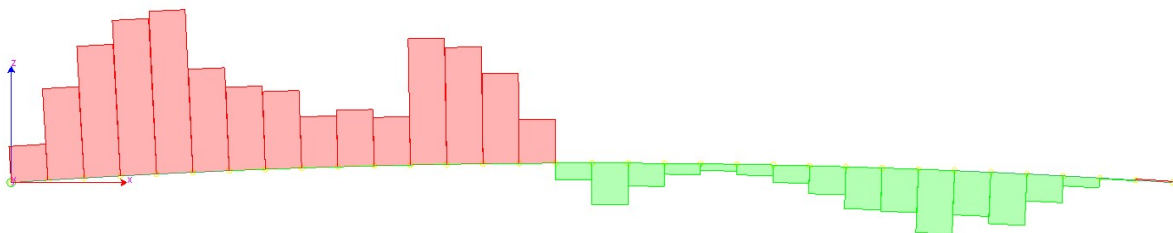
Max 271 Min -50 [kN]



Sforzo assiale Corrente superiore – Comb. 2 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
301 Travi 199 185 557 228 224	-368	
311 Travi 95 79 648 59 47 157		

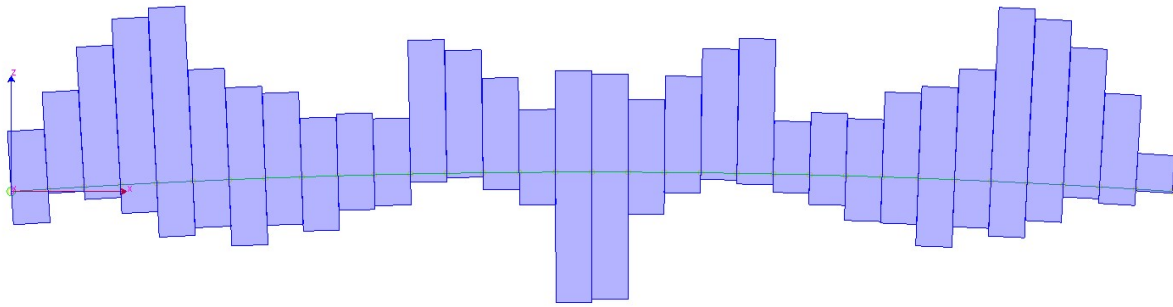
Max 648 Min -368 [kN]



Sforzo assiale Corrente superiore – Comb. 3 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
301 Travi 199 185 865 144 128	-509	
311 Travi 109 95 1116 128 112	-37	

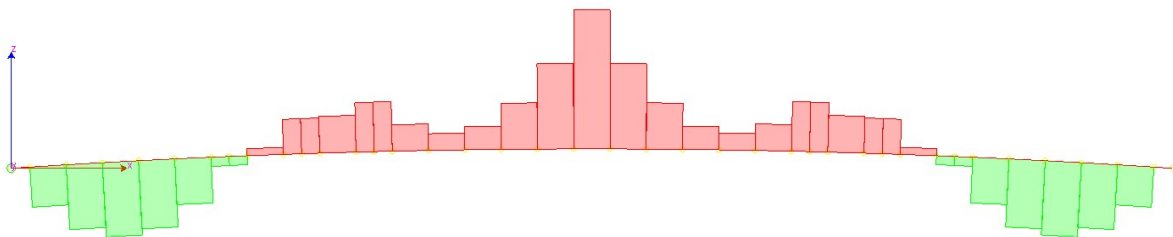
Max 1116 Min -509 [kN]



Sforzo assiale Corrente superiore – Inviluppo combinazioni

Sez	Max [kN]	Min [kN]
301 Travi 200 186 (20)	928 144 128 (21)	-546
311 Travi 109 95 (21)	1205 128 112 (21)	-406

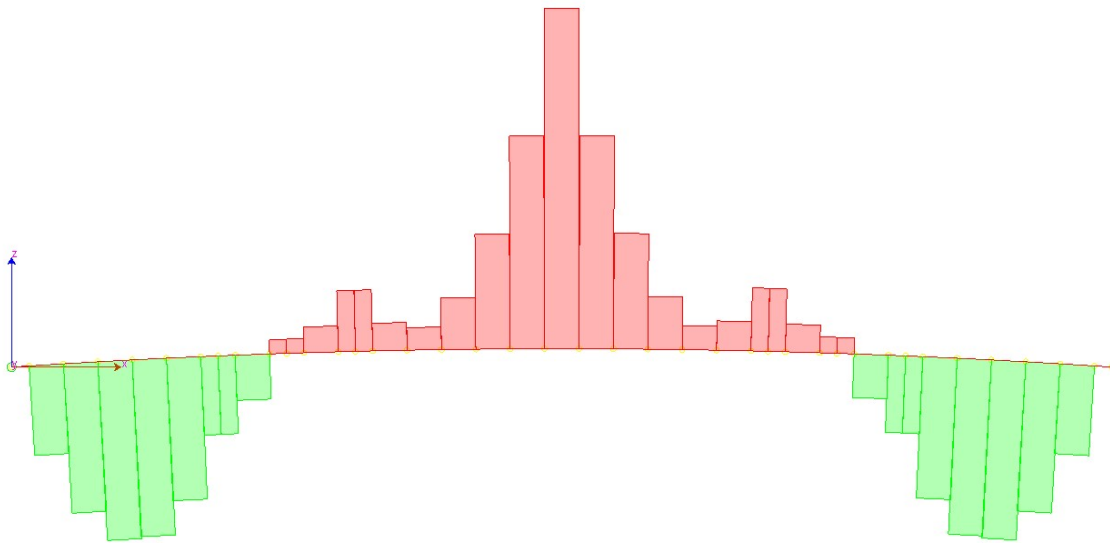
Max 1205 Min -546 [kN]



Sforzo assiale Corrente inferiore – Comb. 1 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
101 Travi 64 62	586 21 19	-510
111 Travi 64 63	953 64 63	953

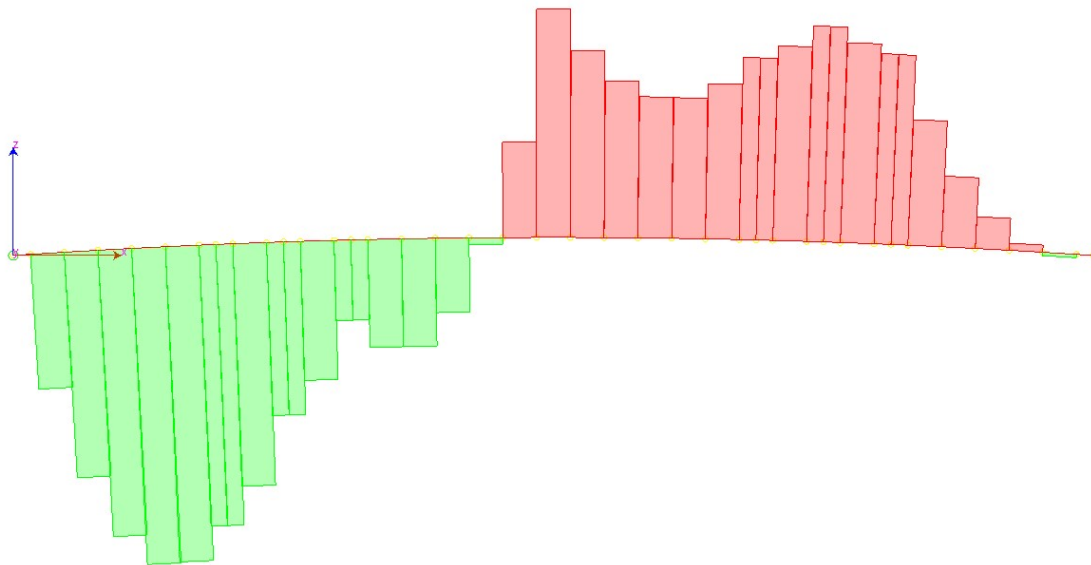
Max 953 Min -510 [kN]



Sforzo assiale Corrente inferiore – Comb. 2 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
101 Travi 64 62	1547 21	19 -1299
111 Travi 64 63	2470 64	63 2470

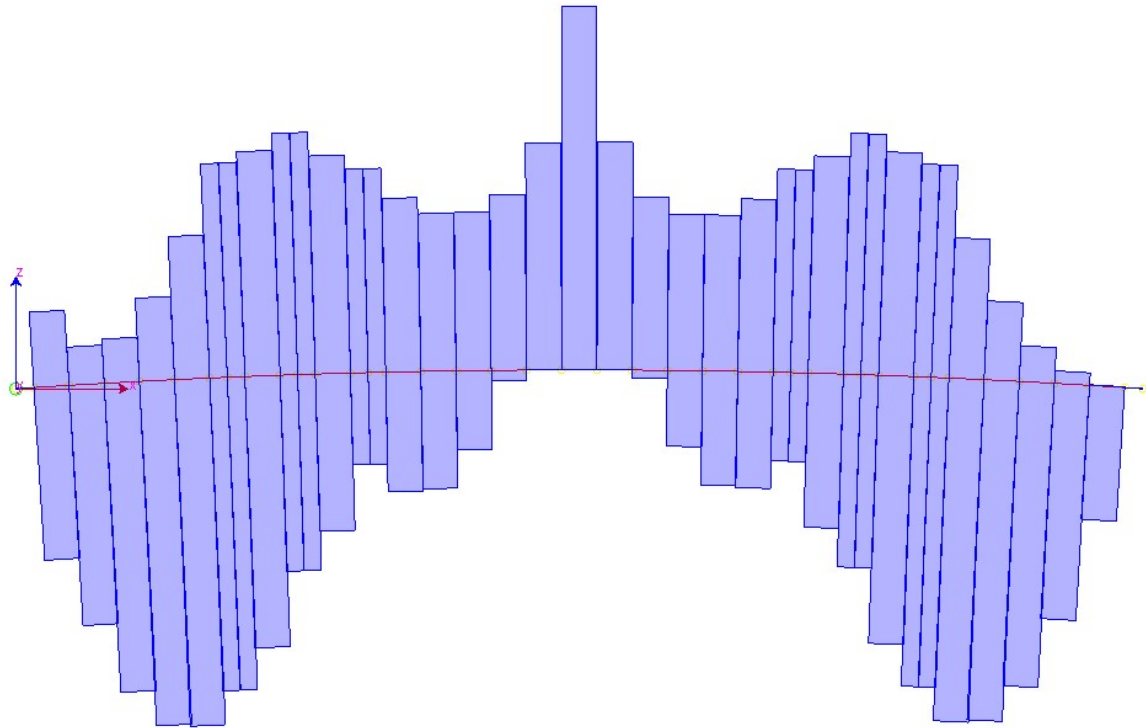
Max 2470 Min -1299 [kN]



Sforzo assiale Corrente inferiore – Comb. 3 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
101 Travi 40 38	1596 23	21 -2343
111 Travi 64 63	1690 64	63 1690

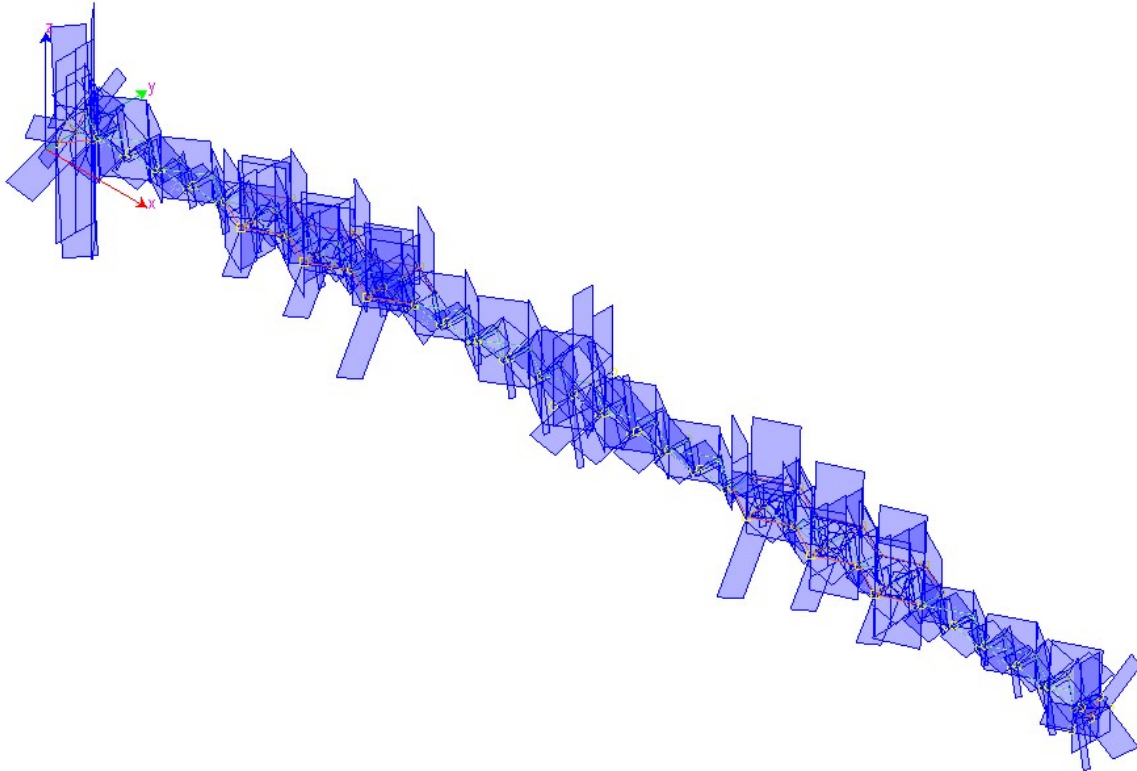
Max 1690 Min -2343 [kN]



Sforzo assiale Corrente inferiore – Involuppo combinazioni

Sez	Max [kN]	Min [kN]
101 Travi 39 37 (20)	1716 27 23 (21)	-2461
111 Travi 64 63 (15)	2576 64 63 (28)	350

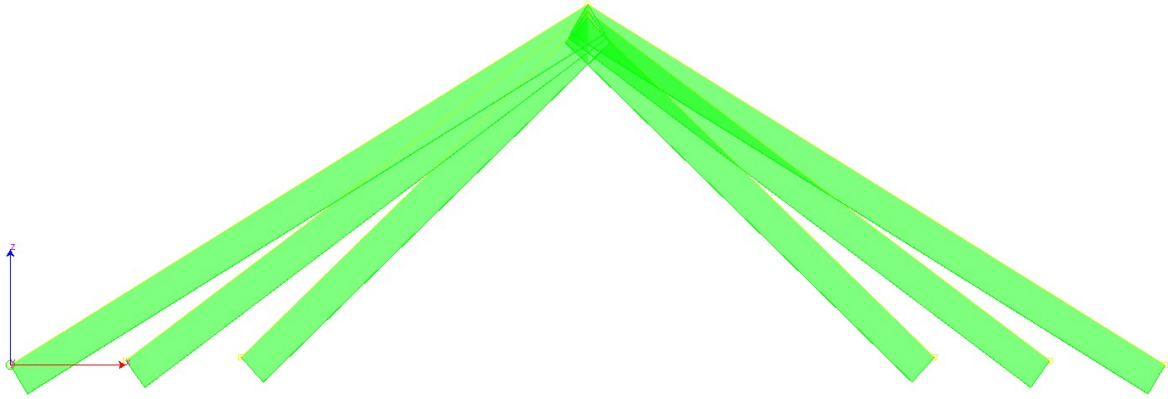
Max 2576 Min -2461 [kN]



Sforzo assiale Aste diagonali di parete, orizzontali e trasversi – Involuppo combinazioni

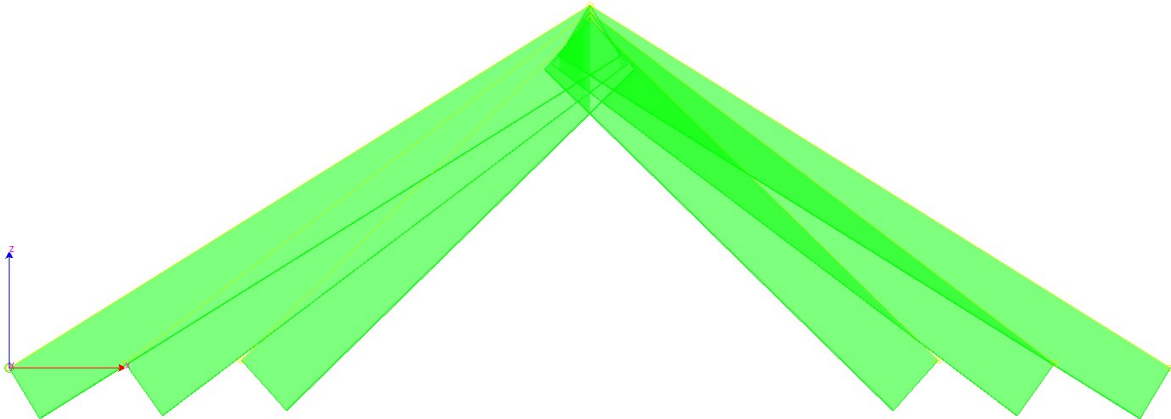
Sez	Max [kN]		Min [kN]		
201 Travi	224	64 (8)	424	64 228 (8)	-432
401 Travi	126	128 (21)	313	126 128 (20)	-278
501 Travi	58	48 (8)	317	47 57 (8)	-292
601 Travi	227	228 (24)	673	184 44 (20)	-500
701 Travi	226	227 (24)	454	228 229 (13)	-116

Max 673 Min -500 [kN]



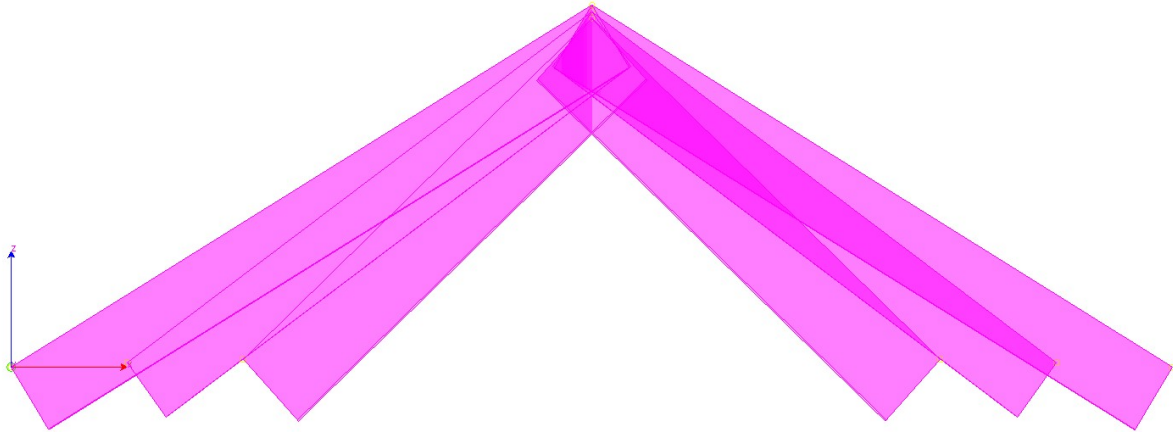
Sforzo assiale Stralli – Comb. 1 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
8 Biella	146 406	-144 184 403 -149



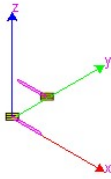
Sforzo assiale Stralli – Comb. 2 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
8 Biella	129 409	-256 184 403 -302



Sforzo assiale Stralli – Involuppo Combinazioni

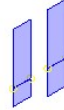
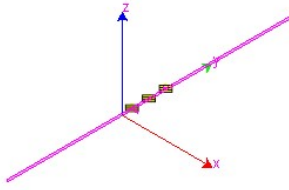
Sez	Max [kN]	Min [kN]
8 Biella 183 403 (32)	-84 184 403 (20)	-366



Vincoli verticali – Involuppo Combinazioni

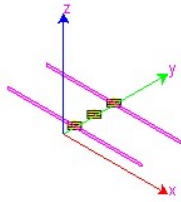
Sez	Max [kN]	Min [kN]
100 Biella 1 7 (21)	249 5 10 (40)	6
101 Biella 6 12 (20)	251 6 12 (42)	22
103 Biella 31 227 (15)	544 31 227 (32)	97

Max 544 Min 6 [kN]



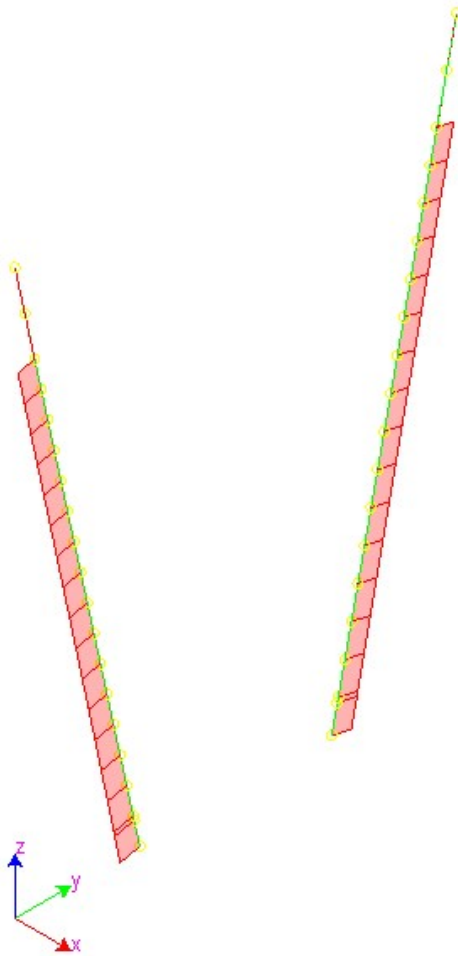
Vincoli trasversali – Inviluppo combinazioni

Sez		Max [kN]	Min [kN]
701 Travi	226 227 (24)	454 228 229 (13)	-116
102 Biella	3 8 (40)	61	3 8 (37) -61



Vincoli longitudinali – Inviluppo combinazioni

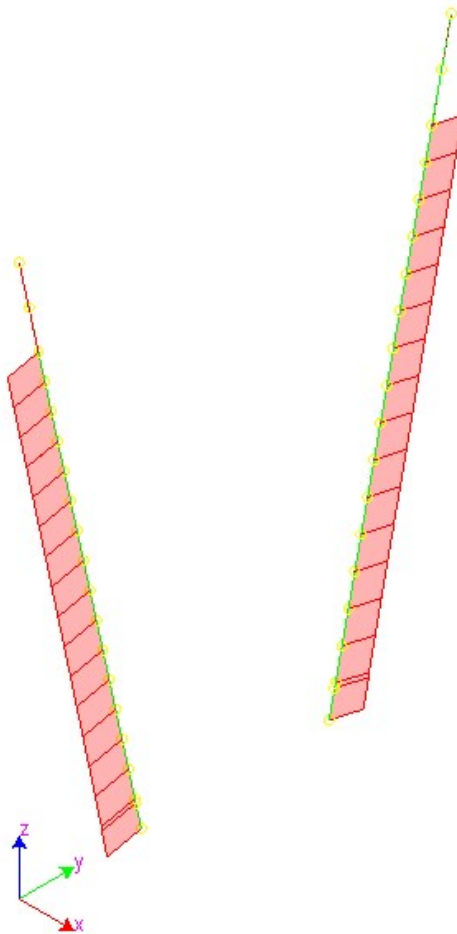
Sez	Max [kN]	Min [kN]
100 Biella 5 10 (30)	227 5 10 (31)	-225



Sforzo assiale Piloni – Comb. 1 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastr	410 412	2 410 412 0
2 Pilastr	404 410	5 404 410 2
3 Pilastr	401 405	565 400 404 561
4 Pilastr	399 401	568 398 400 564
5 Pilastr	397 399	571 396 398 567
6 Pilastr	395 397	576 394 396 571
7 Pilastr	393 395	580 392 394 575
8 Pilastr	391 393	585 390 392 580
9 Pilastr	389 391	590 388 390 585
10 Pilastr	387 389	596 386 388 590
11 Pilastr	385 387	602 384 386 596
12 Pilastr	383 385	609 382 384 602
13 Pilastr	381 383	616 380 382 609
14 Pilastr	379 381	623 378 380 616
15 Pilastr	377 379	631 376 378 623
16 Pilastr	329 377	639 328 376 631
17 Pilastr	252 329	647 251 328 639
18 Pilastr	94 230	663 225 251 647

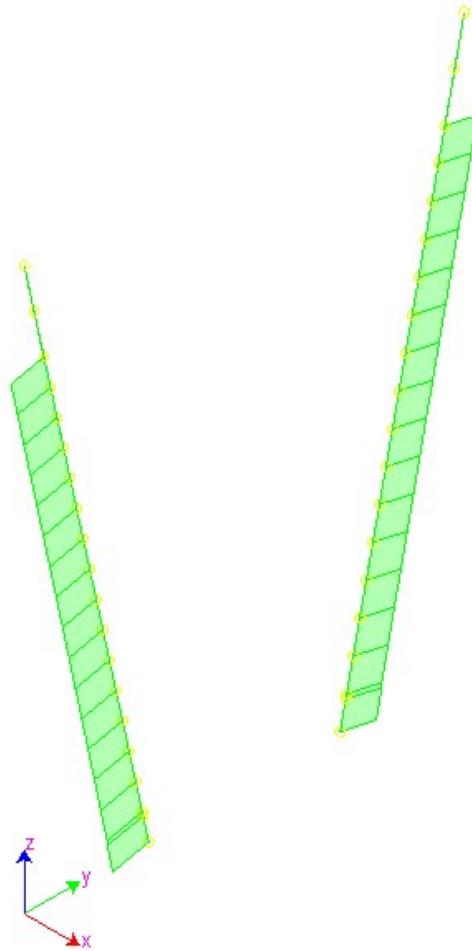
Max 663 Min 0 [kN]



Sforzo assiale Piloni – Comb. 1 SLU

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastr	410 412	2 410 412 0
2 Pilastr	404 410	5 404 410 2
3 Pilastr	401 405 1070	400 404 1063
4 Pilastr	399 401 1073	398 400 1066
5 Pilastr	397 399 1077	396 398 1070
6 Pilastr	395 397 1081	394 396 1073
7 Pilastr	393 395 1086	392 394 1077
8 Pilastr	391 393 1090	390 392 1082
9 Pilastr	389 391 1096	388 390 1087
10 Pilastr	387 389 1101	386 388 1092
11 Pilastr	385 387 1108	384 386 1098
12 Pilastr	383 385 1114	382 384 1104
13 Pilastr	381 383 1121	380 382 1111
14 Pilastr	379 381 1128	378 380 1118
15 Pilastr	377 379 1136	376 378 1125
16 Pilastr	329 377 1144	328 376 1133
17 Pilastr	252 329 1153	251 328 1141
18 Pilastr	94 230 1177	225 251 1149

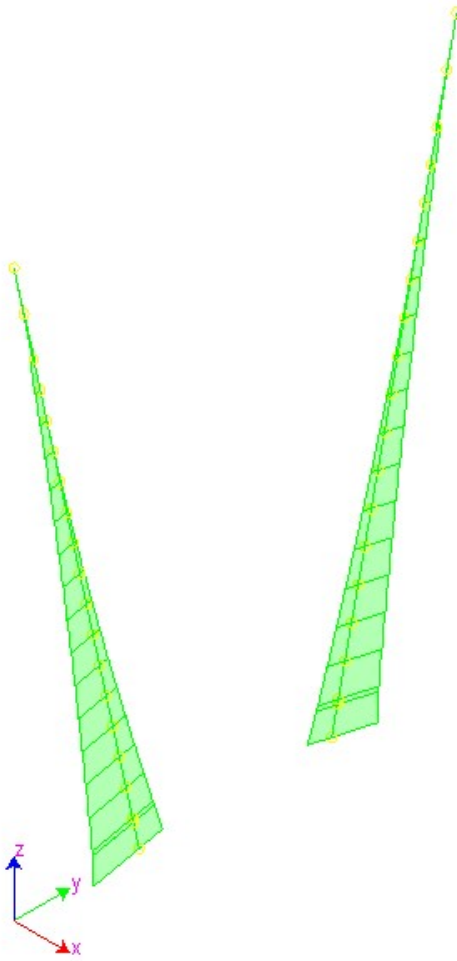
Max 1177 Min 0 [kN]



Sforzo assiale Piloni – Involuppo Combinazioni

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastrì 410 412 (12)	4 410 412 (17)	-1
2 Pilastrì 404 410 (12)	9 404 410 (17)	-0
3 Pilastrì 401 405 (14)	1115 400 404 (51)	429
4 Pilastrì 399 401 (14)	1118 398 400 (51)	431
5 Pilastrì 397 399 (14)	1121 396 398 (51)	434
6 Pilastrì 395 397 (14)	1124 394 396 (51)	436
7 Pilastrì 393 395 (14)	1128 392 394 (51)	440
8 Pilastrì 391 393 (14)	1132 390 392 (51)	443
9 Pilastrì 389 391 (14)	1136 388 390 (51)	447
10 Pilastrì 387 389 (14)	1141 386 388 (51)	451
11 Pilastrì 385 387 (14)	1147 384 386 (51)	455
12 Pilastrì 383 385 (14)	1152 382 384 (51)	459
13 Pilastrì 381 383 (14)	1159 380 382 (51)	464
14 Pilastrì 379 381 (14)	1165 378 380 (51)	470
15 Pilastrì 377 379 (14)	1172 376 378 (51)	475
16 Pilastrì 329 377 (14)	1180 328 376 (51)	481
17 Pilastrì 252 329 (14)	1187 251 328 (51)	487
18 Pilastrì 94 230 (15)	1219 225 251 (51)	493

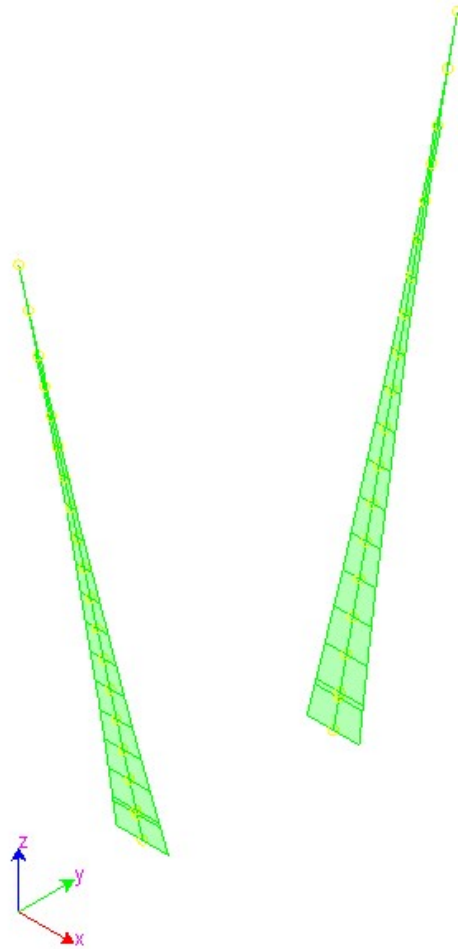
Max 1219 Min -1 [kN]



Momento flettente trasversale Piloni – Involuppo Combinazioni

Sez	Max [kNm]	Min [kNm]
1 Pilastrì 410 412 (16)	6 411 413 (12)	-7
2 Pilastrì 405 411 (17)	24 405 411 (12)	-27
3 Pilastrì 401 405 (15)	185 401 405 (16)	14
4 Pilastrì 399 401 (15)	235 399 401 (16)	11
5 Pilastrì 397 399 (15)	289 397 399 (16)	2
6 Pilastrì 395 397 (13)	351 394 396 (17)	-18
7 Pilastrì 393 395 (13)	421 392 394 (17)	-45
8 Pilastrì 391 393 (13)	496 390 392 (17)	-78
9 Pilastrì 389 391 (13)	575 388 390 (17)	-118
10 Pilastrì 387 389 (13)	659 386 388 (17)	-164
11 Pilastrì 385 387 (13)	747 384 386 (17)	-217
12 Pilastrì 383 385 (13)	839 382 384 (17)	-277
13 Pilastrì 381 383 (13)	936 380 382 (17)	-343
14 Pilastrì 379 381 (13)	1037 378 380 (17)	-417
15 Pilastrì 377 379 (13)	1141 376 378 (17)	-497
16 Pilastrì 329 377 (13)	1249 328 376 (17)	-585
17 Pilastrì 252 329 (13)	1360 251 328 (17)	-680
18 Pilastrì 94 230 (13)	1562 94 230 (16)	-808

Max 1562 Min -808 [kNm]



Momento flettente longitudinale Piloni – Involuppo Combinazioni

Sez	Max [kNm]	Min [kNm]
1 Pilastrì 410 412 (19)	7 410 412 (18)	-7
2 Pilastrì 404 410 (19)	26 404 410 (18)	-26
3 Pilastrì 401 405 (3)	101 401 405 (4)	-101
4 Pilastrì 398 400 (30)	89 398 400 (31)	-90
5 Pilastrì 396 398 (30)	121 396 398 (31)	-123
6 Pilastrì 394 396 (30)	151 394 396 (31)	-153
7 Pilastrì 392 394 (30)	176 392 394 (31)	-179
8 Pilastrì 391 393 (4)	223 390 392 (4)	-221
9 Pilastrì 389 391 (4)	277 388 390 (4)	-275
10 Pilastrì 387 389 (4)	331 386 388 (4)	-328
11 Pilastrì 385 387 (4)	385 384 386 (4)	-381
12 Pilastrì 383 385 (4)	438 382 384 (4)	-434
13 Pilastrì 381 383 (4)	492 380 382 (4)	-487
14 Pilastrì 379 381 (20)	550 378 380 (20)	-544
15 Pilastrì 377 379 (20)	627 376 378 (20)	-619
16 Pilastrì 329 377 (20)	706 328 376 (20)	-698
17 Pilastrì 252 329 (20)	790 251 328 (20)	-781
18 Pilastrì 94 230 (20)	877 93 225 (20)	-867

Max 877 Min -867 [kNm]

4.3 Scarichi in fondazione

Valori estratti dal modello con soletta

4.3.1 Reazione globale

Casi elementari di carico

Caso di carico	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
pp x 1.2	0	0	533
perm strutturale	0	0	605
perm port	0	0	325
folla area X-Y+	0	0	367
folla area X-Y-	0	0	367
folla area X+Y-	0	0	367
folla area X+Y+	0	0	367
folla long	-147	0	0
folla parapetto	0	0	0
vento laterale	0	-96	0
vento verticale Z-	0	0	147
vento X+ pilone	-148	0	0
vento Y+ pilone	0	-148	0
DT+	0	0	0
DT-	0	0	0
Pretensione cavi	0	0	0
Earthq. X+	-453	3	75
Earthq. Y+	-2	-409	-5
Earthq. Z-	29	-1	93

Combinazioni SLU

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
1	0	0	2024
2	0	0	4004
3	0	0	3014
4	0	0	3014
5	0	0	3014
6	0	0	3014
7	0	0	3014
8	0	0	3069
9	-198	0	4004
10	198	0	4004
11	0	0	4004

12	0	-365	3432
13	0	365	3432
14	0	-219	4136
15	0	219	4136
16	0	-365	1683
17	0	365	1683
18	-221	0	2838
19	221	0	2838
20	-133	0	3146
21	133	0	3146
22	-221	0	1683
23	221	0	1683
24	0	0	3212
25	0	0	3212

Combinazioni SLV

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
26	0	0	1463
27	-445	-120	1565
28	-463	-119	1509
29	-444	125	1567
30	-461	126	1511
31	461	-126	1415
32	444	-125	1359
33	463	119	1417
34	445	120	1362
35	-129	-408	1509
36	-147	-407	1453
37	143	-410	1464
38	125	-409	1408
39	-125	409	1518
40	-143	410	1462
41	147	407	1473
42	129	408	1417
43	-107	-123	1577
44	-106	122	1580
45	164	-125	1532
46	166	120	1535
47	-166	-120	1391
48	-164	125	1394

49	106	-122	1346
50	107	123	1349

Combinazioni SLE

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]
51	0	0	1463
52	0	0	2930
53	0	0	2563
54	0	0	2563
55	0	0	2196
56	0	0	2563
57	0	0	2563
58	0	0	2196
59	-147	0	2930
60	147	0	2930
61	0	0	2930
62	0	-244	2636
63	0	244	2343
64	0	-146	3018
65	0	-31	3018
66	0	-244	1610
67	0	-244	1610
68	0	0	2490
69	0	0	2490
70	-148	0	2123
71	148	0	2123
72	-89	0	2284
73	89	0	2284
74	-148	0	1610
75	148	0	1610

4.3.2 Reazione globale Spalla sinistra

Si riporta la risultante delle reazioni vincolari riferite al p.to di simmetria

Combinazioni SLU

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1	1	0	166	0	0	0
2	4	-1	378	1	0	0
3	-86	-1	483	0	0	5

4	90	-1	61	1	0	-4
5	2	3	272	195	0	162
6	2	-12	272	121	0	60
7	2	11	272	-120	0	-60
8	7	-5	266	-197	0	-168
-						
9	196	-1	362	1	0	0
10	203	-1	395	1	0	1
11	4	-1	378	1	0	1
12	3	-33	317	60	0	-28
13	3	31	317	-58	0	28
14	4	-20	392	37	0	-16
15	4	18	392	-34	0	17
16	0	-32	133	59	0	-28
17	0	31	133	-59	0	28
18	-54	-1	98	1	0	-3
19	58	-1	409	1	0	4
20	25	-1	58	1	0	-5
21	-20	-1	515	1	0	5
-						
22	108	0	104	0	0	-1
23	109	0	162	0	0	1
24	20	-2	253	0	0	5
25	11	-1	272	0	0	3

Combinazioni SLV

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
26	0	0	109	0	0	0
27	-401	-23	49	45	0	-28
28	-421	-23	43	45	0	-28
29	-400	26	50	-47	0	29
30	-420	26	44	-47	0	29
31	419	-27	175	47	0	-29
32	400	-26	169	47	0	-29
33	420	22	175	-45	0	28
34	401	23	169	-45	0	28
35	-115	-82	93	153	0	-95
36	-135	-81	87	153	0	-95
37	131	-83	130	154	0	-96
38	111	-82	124	153	0	-96
39	-112	82	94	-153	0	96

40	-132	82	88	-153	0	96
41	134	81	132	-153	0	95
42	115	81	126	-153	0	95
43	-91	-25	100	46	0	-29
44	-90	24	101	-46	0	29
45	155	-26	138	47	0	-29
46	156	23	138	-45	0	28
47	-157	-24	80	45	0	-29
48	-156	25	81	-47	0	29
49	90	-25	118	46	0	-29
50	91	24	119	-46	0	28

Combinazioni SLE

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
51	0	0	109	0	0	0
52	2	-1	267	1	0	0
53	-31	-1	305	0	0	2
54	34	-1	149	1	0	-2
55	1	2	188	144	0	120
56	2	-5	227	45	0	22
57	1	4	227	-44	0	-22
58	1	-3	188	-143	0	-120
59	-146	-1	254	0	0	0
60	150	-1	279	1	0	0
61	2	-1	267	1	0	0
62	2	-22	235	40	0	-19
63	1	20	204	-39	0	19
64	2	-13	276	24	0	-11
65	2	10	276	-25	0	6
66	0	-21	125	40	0	-19
67	0	-21	125	40	0	-19
68	13	-1	193	0	0	3
69	7	-1	205	0	0	2
70	-48	-1	134	0	0	-2
71	51	-1	282	0	0	2
72	-9	-1	147	1	0	-2
73	12	-1	326	0	0	2
74	-72	0	106	0	0	-1
75	72	0	144	0	0	0

4.3.3 Reazione globale Pila centrale

Si riporta la risultante delle reazioni vincolari riferite al p.to di simmetria

Combinazioni SLU

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1	-1	1	1692	0	-10	0
2	-4	2	3249	-2	-64	0
3	86	1	2480	-1	1305	0
4	-90	2	2462	-1	-1379	0
5	-2	-5	2471	3	-40	-152
6	-2	26	2471	686	-37	1
7	-2	-23	2471	-689	-36	-1
8	-7	11	2513	32	-110	161
9	-2	2	3270	-2	-43	0
10	-5	2	3228	-2	-84	0
11	-4	2	3249	-2	-64	0
12	-3	-301	2799	2667	-48	-1
13	-3	305	2800	-2671	-48	1
14	-4	-179	3353	1599	-68	0
15	-4	184	3353	-1604	-67	0
16	0	-302	1417	2669	-2	-1
17	0	304	1418	-2669	-2	1
18	-168	2	2338	-1	-1345	0
19	164	1	2327	-1	1281	0
20	-158	2	2572	-2	-1687	0
21	153	1	2577	-1	1607	1
22	-113	1	1429	0	-510	0
23	113	1	1406	0	506	0
24	-20	4	2714	0	-331	0
25	-11	3	2673	-1	-194	0

Combinazioni SLV

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
26	0	1	1244	0	4	0
27	-44	-74	1402	546	-72	-3
28	-42	-73	1358	545	-67	-3
29	-44	74	1404	-160	-72	3
30	-42	75	1360	-161	-67	3
31	42	-74	1128	161	76	-3

32	44	-73	1085	160	81	-3
33	42	74	1130	-545	76	3
34	44	75	1087	-546	81	3
35	-14	-246	1304	1236	-21	-9
36	-12	-246	1260	1235	-16	-9
37	12	-246	1222	1120	24	-9
38	14	-246	1178	1119	29	-9
39	-14	247	1310	-1119	-20	9
40	-11	248	1267	-1120	-15	9
41	12	247	1228	-1235	24	9
42	14	248	1185	-1236	29	9
43	-16	-74	1357	413	-26	-3
44	-16	74	1359	-294	-26	3
45	9	-74	1275	297	18	-3
46	9	74	1277	-409	18	3
47	-9	-73	1212	409	-10	-3
48	-9	75	1214	-297	-10	3
49	17	-73	1130	294	35	-3
50	17	75	1132	-413	35	3

Combinazioni SLE

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
51	0	1	1244	0	4	0
52	-2	2	2397	-1	-36	0
53	31	1	2112	-1	471	0
54	-34	1	2106	-1	-523	0
55	-1	-4	1821	3	-18	-113
56	-2	10	2109	254	-26	1
57	-2	-8	2109	-256	-26	-1
58	-1	6	1821	-4	-14	113
59	-1	1	2413	-1	-21	0
60	-3	2	2382	-1	-51	0
61	-2	2	2397	-1	-36	0
62	-2	-201	2167	1778	-28	0
63	-1	203	1936	-1780	-20	0
64	-2	-120	2466	1066	-38	0
65	-2	-52	2467	813	-38	0
66	0	-201	1360	1779	0	0
67	0	-201	1360	1779	0	0
68	-13	3	2110	0	-216	0

69	-7	2	2082	0	-125	0
70	-99	1	1970	-1	-707	0
71	97	1	1960	-1	666	0
72	-79	1	2179	-1	-729	0
73	76	1	2177	-1	672	0
74	-75	1	1367	0	-338	0
75	75	1	1352	0	339	0

4.3.4 Reazione globale Pila destra

Si riporta la risultante delle reazioni vincolari riferite al p.to di simmetria

Combinazioni SLU

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1	0	0	166	0	0	0
2	0	-1	377	1	0	0
3	0	-1	51	1	0	0
4	0	-1	491	1	0	0
5	0	3	271	-199	0	0
6	0	-14	271	123	0	0
7	0	12	271	-122	0	0
8	0	-5	289	218	0	0
9	0	-1	373	1	0	0
10	0	-1	381	1	0	0
11	0	-1	377	1	0	0
12	0	-32	316	59	0	0
13	0	30	316	-57	0	0
14	0	-20	391	36	0	0
15	0	17	391	-34	0	0
16	0	-31	133	58	0	0
17	0	31	133	-58	0	0
18	0	-1	402	1	0	0
19	0	-1	103	0	0	0
20	0	-1	516	1	0	0
21	0	-1	54	1	0	0
22	0	0	151	0	0	0
23	0	0	115	0	0	0
24	0	-2	245	0	0	0
25	0	-2	267	0	0	0

Combinazioni SLV

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
26	0	0	109	0	0	0
27	0	-23	114	0	0	0
28	0	-23	107	-1	0	0
29	0	25	114	-85	0	0
30	0	25	107	-86	0	0
31	0	-26	112	86	0	0
32	0	-26	105	85	0	0
33	0	22	112	1	0	0
34	0	22	105	0	0	0
35	0	-80	113	129	0	0
36	0	-80	106	129	0	0
37	0	-81	112	155	0	0
38	0	-81	105	154	0	0
39	0	80	113	-154	0	0
40	0	80	107	-155	0	0
41	0	79	113	-129	0	0
42	0	80	106	-129	0	0
43	0	-24	121	30	0	0
44	0	24	121	-55	0	0
45	0	-25	120	56	0	0
46	0	23	120	-29	0	0
47	0	-23	99	29	0	0
48	0	25	99	-56	0	0
49	0	-24	98	55	0	0
50	0	24	98	-30	0	0

Combinazioni SLE

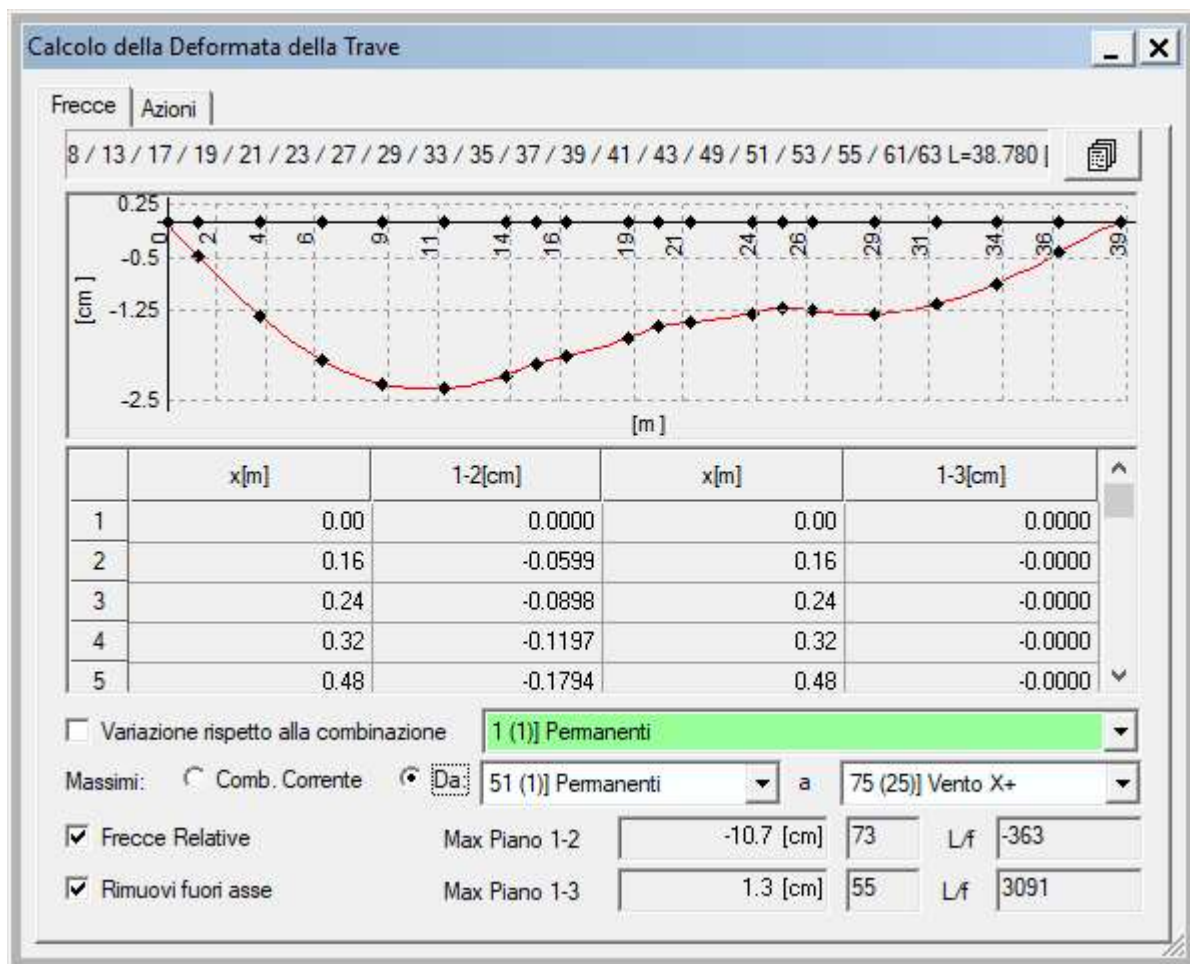
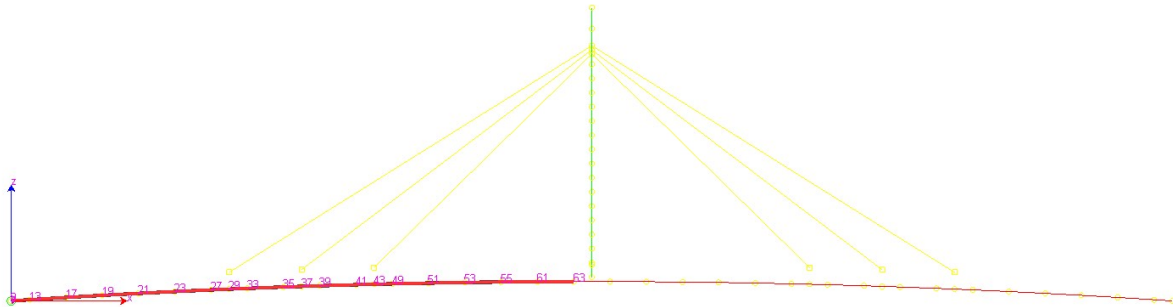
Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
51	0	0	109	0	0	0
52	0	-1	266	1	0	0
53	0	-1	145	0	0	0
54	0	-1	308	0	0	0
55	0	2	188	-147	0	0
56	0	-5	227	46	0	0
57	0	4	227	-45	0	0
58	0	-3	188	148	0	0
59	0	-1	263	1	0	0

60	0	-1	269	1	0	0
61	0	-1	266	1	0	0
62	0	-21	235	39	0	0
63	0	20	203	-38	0	0
64	0	-13	275	24	0	0
65	0	10	275	-25	0	0
66	0	-21	125	39	0	0
67	0	-21	125	39	0	0
68	0	-1	187	0	0	0
69	0	-1	202	0	0	0
70	0	-1	276	0	0	0
71	0	-1	138	0	0	0
72	0	-1	325	1	0	0
73	0	-1	147	0	0	0
74	0	0	137	0	0	0
75	0	0	113	0	0	0

5 Verifiche

5.1 Verifiche di deformabilità

Calcolo del rapporto Luce/freccia su campata L = 40m:



Rapporto Luce/freccia = 363

5.2 Verifiche di comfort vibrazionale dei pedoni

Con riferimento al documento “Hivoss “Human induced vibrations of steel structures” – RFS2-CT-2007-00033 – Design of footbridges – Guideline” si è operato un confronto tra le frequenze naturali della passerella e quelle all’interno dell’intervallo “critico” indicato al p.to 4.2 di seguito riportato:

4.2 Step 2: Check of critical range of natural frequencies

The critical ranges for natural frequencies f_i of footbridges with pedestrian excitation are:

- for vertical and longitudinal vibrations:

$$1,25 \text{ Hz} \leq f_i \leq 2,3 \text{ Hz}$$

- for lateral vibrations: $0,5 \text{ Hz} \leq f_i \leq 1,2 \text{ Hz}$

Footbridges with frequencies for vertical or longitudinal vibrations of

$$2,5 \text{ Hz} \leq f_i \leq 4,6 \text{ Hz}$$

might be excited to resonance by the 2nd harmonic of pedestrian loads [1]. In that case, the critical frequency range for vertical and longitudinal vibrations expands to:

$$1,25 \text{ Hz} \leq f_i \leq 4,6 \text{ Hz}$$

Lateral vibrations are not effected by the 2nd harmonic of pedestrian loads.

Note: A vertical vibration excitation by the second harmonic of pedestrian forces might take place. Until now there is no hint in the literature that onerous vibration of footbridges due to the second harmonic of pedestrians have occurred.

Di seguito sono riportate le frequenze naturali e l’esito del controllo:

f [Hz]	T [sec]	Dir.	Check	
1.14	0.88	Z	Not Critical	1o antimettrico
1.64	0.61	Y	Not Critical	1o laterale-torsionale antimettrico
2.22	0.45	Y	Not Critical	1o torsionale antimettrico
2.33	0.43	Z	Not Critical	1o torsionale antimettrico

Si osserva che le frequenze principali sono fuori dal range critico.

In fase di sviluppo del progetto esecutivo saranno comunque approfondite le analisi di verifica del comfort.

5.3 Dimensionamento delle ampiezze del giunto longitudinale tra l’impalcato e la pila destra

Il vincolo longitudinale è localizzato sulla spalla sinistra mentre in corrispondenza delle pile sono ammessi i movimenti longitudinali. Sulla pila destra è localizzato il giunto longitudinale.

Massimo spostamento longitudinale in corrispondenza della pila destra:

Combinazione SLU DT+ + Folla $u_x = +8.5\text{cm}$

Combinazione SLU DT- + Folla $u_x = -3.5\text{cm}$

Si dimensiona il giunto longitudinale per una escursione $\Delta X = \pm 100\text{mm}$.

5.4 Verifica di resistenza delle membrature in acciaio

Si fa riferimento al modello senza soletta equivalente.

5.4.1 Trave reticolare spaziale - Aste

La tabella successiva riporta in % e in numero gli elementi (divisi per famiglie) che ricadono nei diversi intervalli del tasso di utilizzazione Sd/Sr.

Distribuzione degli elementi (n. di elementi in ogni campo)

Sezione Numero	Sezione tipo	Sd/Sr ≤ 33%	Sd/Sr ≤ 66%	Sd/Sr ≤ 80%	Sd/Sr ≤ 100%	Sd/Sr > 100%
101	CHS_EN10219 244.5X12.0/Corrente Long Inf	7.89 (3)	50.00 (19)	31.58 (12)	10.53 (4)	0.00 (0)
111	CHS_EN10219 244.5X12.5/Corrente Long Inf rinf	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)	100.00 (1)
201	CHS_EN10219 114.3X5.0/Diagonali di Parete	45.31 (58)	40.63 (52)	6.25 (8)	7.03 (9)	0.00 (0)
301	CHS_EN10219 177.8X8.0/Corrente Long Sup	5.00 (2)	70.00 (28)	15.00 (6)	10.00 (4)	0.00 (0)
311	CHS_EN10219 177.8X12.0/Corrente Long Sup Rinf	16.67 (4)	50.00 (12)	33.33 (8)	0.00 (0)	0.00 (0)
401	CHS_EN10219 114.3X5.0/Traversi Sup	66.67 (20)	33.33 (10)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
501	CHS_EN10219 114.3X6.0/Diagonali Orizzontali Reticola	6.25 (2)	75.00 (24)	12.50 (4)	6.25 (2)	0.00 (0)
601	CHS_EN10219 177.8X8.0/Aste Aggancio Impalcato	81.01 (64)	18.99 (15)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
701	CHS_EN10219 177.8X8.0/Ritegno trasversale	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
103	CHS_EN10219 177.8X8.0/Appoggi centrali	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)

Elementi maggiormente sollecitati

Sezione	Max Elemento nodi	Max Sd/Sr
101 CHS_EN10219 244.5X12.0/Corrente Long Inf	27 23	0.83
111 CHS_EN10219 244.5X12.5/Corrente Long Inf rinf	64 63	1.01 (*)
201 CHS_EN10219 114.3X5.0/Diagonali di Parete	224 64	1.03 (*)
202 CHS_EN10219 114.3X8.0/Diagonali di Parete	200 186	0.85
301 CHS_EN10219 177.8X8.0/Corrente Long Sup	112 98	0.78
311 CHS_EN10219 177.8X12.0/Corrente Long Sup Rinf	126 128	0.66
401 CHS_EN10219 114.3X5.0/Traversi Sup	58 48	0.93
501 CHS_EN10219 114.3X6.0/Diagonali Orizzontali Reticola	227 228	0.5
601 CHS_EN10219 177.8X8.0/Aste Aggancio Impalcato	226 227	0.34

701 CHS_EN10219 177.8X8.0/Ritegno trasversale	27 23	0.83
103 CHS_EN10219 177.8X8.0/Appoggi centrali	31 227	0.41

(*) Verifica non soddisfatta: trattandosi di una sola asta, si procederà a rinforzo locale.

5.4.2 Trave reticolare spaziale - Nodi

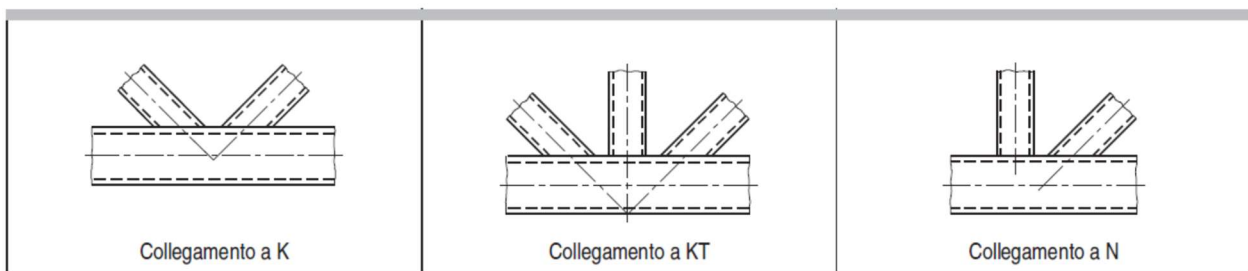
La tipologia di nodo tipica prevista nel progetto per la trave reticolare spaziale consiste nella saldatura diretta tra tubi circolari: le aste di parete (diagonali, trasversi e diagonali di falda) vengono saldate sui correnti superiori ed inferiore in modo da realizzare in officina moduli di trave di lunghezza tale da poter essere trasportabili in cantiere.



Esempio di reticolo spaziale realizzato mediante tubi circolare saldati tra loro

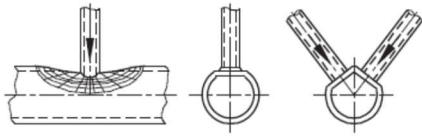
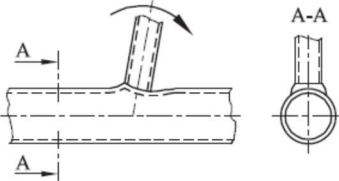
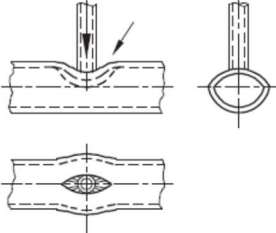
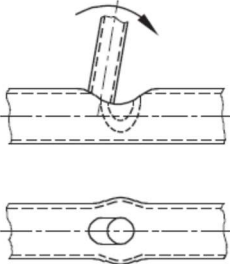
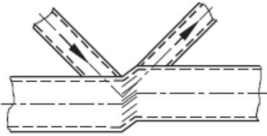
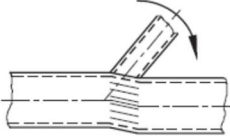
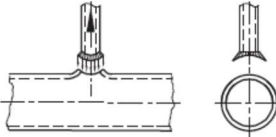
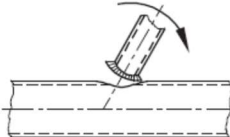
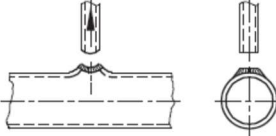
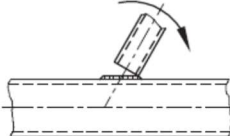
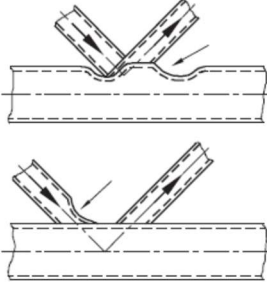
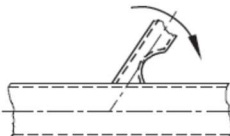
La resistenza dei i nodi ottenuti mediante saldatura diretta tra tubi è normata da EN1993-1-8 cap. 7.

Le tipologie di nodo previste sono la “K”, la “KT” e la “N” secondo le figure seguenti:



Le modalità di collasso previste sono le seguenti

figura 7.2 Modalità di collasso per collegamenti tra membrature con sezioni tipo CHS

Modalità	Sforzo normale	Momento flettente
a		
b		
c		
d		
e		
f		

Le procedure di verifica sono valide sotto le seguenti condizioni:

- spessori compresi tra 2.5mm e 25mm;
- angoli fra le aste concorrenti maggiori 30deg;
- in caso di sovrapposizione, il tubo con diametro maggiore (o di spessore maggiore nel caso di diametri uguali) interrompe quello di diametro minore (o di spessore minore);
- caratteristiche delle saldature (p.to 7.3.1):

(1)P Le saldature che connettono le membrature diagonali ai correnti devono essere progettate in modo da avere sufficiente resistenza, per consentire la distribuzione di tensioni non uniformi, e sufficiente capacità deformativa, per consentire la ridistribuzione dei momenti flettenti.

(2) Nei collegamenti saldati, si raccomanda che la connessione sia generalmente realizzata intorno all'intero perimetro della sezione cava mediante saldature di testa, a cordoni d'angolo oppure una combinazione delle due. Comunque nei collegamenti a parziale sovrapposizione, non è necessario eseguire la saldatura sulla parte nascosta della connessione, a condizione che gli sforzi normali nelle membrature diagonali siano tali che le loro componenti perpendicolari all'asse del corrente non differiscano più del 20%.

(4) Si raccomanda che la resistenza di progetto della saldatura per unità di lunghezza di perimetro della membratura diagonale generalmente non risulti minore della resistenza di progetto della sezione trasversale di quella membratura per unità di lunghezza di perimetro.

- rapporti diametro/spessore, limiti di sovrapposizione e di separazione:

Campo di validità per collegamenti saldati tra membrature diagonali con sezione circolare cava e correnti con sezione circolare cava

Rapporto dei diametri		$0,2 \leq d/d_0 \leq 1,0$
Correnti	Trazione	$10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (generalmente) ma: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (per giunti a X)
	Compressione	Classe 1 oppure 2 e $10 \leq d_0/t_0 \leq 50$ (generalmente) ma: $10 \leq d_0/t_0 \leq 40$ (per giunti a X)
Diagonali	Trazione	$d/t_1 \leq 50$
	Compressione	Classe 1 oppure 2
Sovrapposizione		$25\% \leq \lambda_{ov} \leq \lambda_{ov,lim.}$, vedere punto 7.1.2(6)
Separazione (gap)		$g \geq t_1 + t_2$

Esito del controllo delle condizioni:

- **i nodi tipici del corrente inferiore hanno caratteristiche che ottemperano le condizioni geometriche di cui prima. Gli esiti delle verifiche sono positivi.**

Si riporta l'output della verifica per il nodo 64:

Verifica punching shear piano

Asta nodi	Sezione	Profilo [mm]	d/t	Eccentricità [mm]	Angolo [deg]
64 63	111 CHS_EN10219 244.5X12.5	244.5 x 12.5	19.56	0.0	0.00000
64 228	201 CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3 x 5.0	22.86	0.0	47.70557
224 64	201 CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3 x 5.0	22.86	0.0	47.61661
64 62	101 CHS_EN10219 244.5X12.0	244.5 x 12.0	20.38	0.0	-0.20003

μ 0.90

Verifiche secondo EC3 1993-1-8 - schema K o N

Combinazione critica 8

Corrente CHS_EN10219 244.5X12.5

do 244.5 [mm]

to 12.5 [mm]

g 68.1 [mm]

kg 1.69

Np,Ed 1074 [kN]

Mip,0,Ed 20 [kNm]

Mop,0,Ed -17 [kNm]

SEd/SRd 0.76

Asta	Profilo	d [mm]	t [mm]	N [kN]	M _{i,Ed} [kNm]	M _{o,Ed} [kNm]	$\sigma_{p,Ed}$ [MPa]	n	k _p	Punching Shear Chord Failure			
										N _{i,Rd} [kN]	M _{ip,1,Rd} [kNm]	N _{i,Rd} [kN]	M _{op,1,Rd} [kNm]
64 228	CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3	5.0	-431	0	2168.07	0.473	0.791	1463	49	660	29	
224 64	CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3	5.0	424	1	-3186.08	0.524	0.760	1466	49	635	28	

- **nodi tipici del corrente superiore**
 - o **configurazione nel piano inclinato: la separazione "g" NON ottempera le condizioni richieste**
 - o **configurazione nel piano orizzontale a 5 aste: la sovrapposizione "λ"NON ottempera le condizioni richieste**
 - o **configurazione nel piano orizzontale a 3 aste: le condizioni richieste sono ottemperate.**

Si riporta l'output della verifica per il nodo 57:

Piano orizzontale - Verifica punching shear piano

Asta nodi	Sezione	Profilo [mm]	d/t	Eccentricità [mm]	Angolo [deg]
57 45	311 CHS_EN10219 177.8X12.0	177.8 x 12.0	14.82	0.0	0.00000
47 57	501 CHS_EN10219 114.3X6.0	114.3 x 6.0	19.05	0.0	30.66867
57 59	401 CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3 x 5.0	22.86	0.0	90.00000
57 67	501 CHS_EN10219 114.3X6.0	114.3 x 6.0	19.05	0.0	30.96623
65 57	311 CHS_EN10219 177.8X12.0	177.8 x 12.0	14.82	0.0	0.00000

μ 0.90

ATTENZIONE NODO NON VERIFICABILE

Asta 47 57 $\lambda_0=8.60 < 25$

Asta 57 59 $\lambda_0=8.60 < 25$

Asta 57 67 $\lambda_0=17.56 < 25$

Verifiche secondo EC3 1993-1-8 - schema KT

Combinazione critica 5

Corrente CHS_EN10219 177.8X12.0

do 177.8 [mm]

to 12.0 [mm]

g0,1 -19.3 [mm]

g1,2 -20.1 [mm]

kg,01 1.85

kg,12 1.85

kg,23 1.85

Np,Ed 23 [kN]

Mip,0,Ed 1 [kNm]

Mop,0,Ed 1 [kNm]

SEd/SRd 0.23

Asta	Profilo	d [mm]	t [mm]	N [kN]	Mi,Ed [kNm]	Mo,Ed [kNm]	σp,Ed [MPa]	n	kp	Punching Shear Chord Failure			
										Ni,Rd [kN]	Mip,1,Rd [kNm]	Ni,Rd [kN]	Mop,1,Rd [kNm]
47 57	CHS_EN10219 114.3X6.0	114.3	6.0	295	-0	3	14.41	0.041	0.987	2563	78	1527	64
57 59	CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3	5.0	-29	-3	1	65.56	0.185	0.934	883	32	737	31
57 67	CHS_EN10219 114.3X6.0	114.3	6.0	-205	0	-1	10.59	0.030	0.991	2526	77	1520	63

Piano inclinato - Verifica punching shear piano

Asta nodi	Sezione	Profilo [mm]	d/t	Eccentricità [mm]	Angolo [deg]
57 45	311 CHS_EN10219 177.8X12.0	177.8 x 12.0	14.82	0.0	0.00000
13 57	201 CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3 x 5.0	22.86	0.0	45.96998
57 17	201 CHS_EN10219 114.3X5.0	114.3 x 5.0	22.86	0.0	49.45179
65 57	311 CHS_EN10219 177.8X12.0	177.8 x 12.0	14.82	0.0	0.20122

μ 0.90

ATTENZIONE NODO NON VERIFICABILE

Asta 13 57 $\theta=45.96998$ [deg] e 57 17 $\theta=49.45179$ [deg] gusset=7.3 < (ti+tj)=10.0 [mm]

Verifiche secondo EC3 1993-1-8 - schema K o N

Combinazione critica 8

Corrente CHS_EN10219 177.8X12.0

do 177.8 [mm]

to 12.0 [mm]

g 7.3 [mm]

kg 1.78

Np,Ed 170 [kN]

Mip,0,Ed 4 [kNm]

Mop,0,Ed 7 [kNm]

SEd/SRd 0.42

Asta	Profilo	d [mm]	t [mm]	N [kN]	Mi,Ed [kNm]	Mo,Ed [kNm]	$\sigma_{p,Ed}$ [MPa]	n	kp	Punching Shear Chord Failure				
										Ni,Rd [kN]	Mip,1,Rd [kNm]	Ni,Rd [kN]	Mop,1,Rd [kNm]	
13 57	CHS_EN10219	114.3X5.0	114.3	5.0	351	-1	-3	64.38	0.181	0.936	1468	49	992	43
57 17	CHS_EN10219	114.3X5.0	114.3	5.0	-253	-2	0	82.76	0.233	0.914	1346	46	917	40

Si osserva comunque che pur non ottemperando le condizioni geometriche gli esiti delle verifiche sono confortanti ($Sd/Sr < 0.70$).

In fase di redazione del progetto esecutivo verranno adottate le seguenti strategie (alternative) per la verifica dei nodi del corrente superiore:

- 1) verifiche dettagliate mediante modellazione FEM del nodo;
- 2) modifica geometrica del nodo al fine di rispettare nelle condizioni geometriche:

Nel piano inclinato:

sostituzione del tubo utilizzato per il corrente superiore da CHS 177.8x8 a CHS 193.7x6.3 (-14% in termini di peso) o CHS 193.7x 8 (+10% in termini di peso).

Nel piano orizzontale:

introduzione di una eccentricità longitudinale $eL > 18\text{mm}$ tra il punto schema del traverso ed i punti schema dei diagonali.

5.4.3 Pennoni

I pennoni sono aste a sezione variabile soggette prevalentemente a sforzo assiale e flessione deviata.

Ciascun pennone è stato modellato mediante una successione di elementi beam aventi sezione costante di ingombro via via decrescente dal basso verso l'alto.

La verifica è stata condotta con le seguenti assunzioni:

- 1) le sezioni sono assunte di classe ≤ 3 in virtù degli irrigidimenti longitudinali e trasversali previsti nella parte iniziale di ciascun pennone dove il rapporto L/t dei piatti componenti il cassone trapezoidale sarebbe tale portare la sezione in classe 4 in assenza di essi;
- 2) si è determinato il moltiplicatore di buckling del pennone nella configurazione di massimo sforzo di compressione. Noto quindi il carico critico euleriano del pennone è stato determinato il coefficiente atto a definire la lunghezza libera d'inflessione di ciascun concio in modo da tenere conto della snellezza del pennone e gli effetti delle imperfezioni in accordo con le formule di verifiche di instabilità di normativa.

La tabella successiva riporta in % e in numero gli elementi (divisi per famiglie) che ricadono nei diversi intervalli del tasso di utilizzazione Sd/Sr .

Distribuzione degli elementi (n. di elementi in ogni campo). (Il numero della sezione è crescente dall'alto al basso di ciascun pennone).

Sezione Numero	Sezione tipo	$Sd/Sr \leq 33\%$	$Sd/Sr \leq 66\%$	$Sd/Sr \leq 80\%$	$Sd/Sr \leq 100\%$	$Sd/Sr \geq 100\%$
1	CassoniPasserellaReno Concio750/Pilone	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
2	CassoniPasserellaReno Concio2250/Pilone	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
3	CassoniPasserellaReno Concio3500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
4	CassoniPasserellaReno Concio4500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
5	CassoniPasserellaReno Concio5500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
6	CassoniPasserellaReno Concio6500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
7	CassoniPasserellaReno Concio7500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
8	CassoniPasserellaReno Concio8500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
9	CassoniPasserellaReno Concio9500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
10	CassoniPasserellaReno Concio10500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
11	CassoniPasserellaReno Concio11500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
12	CassoniPasserellaReno Concio12500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
13	CassoniPasserellaReno Concio13500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
14	CassoniPasserellaReno Concio14500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
15	CassoniPasserellaReno Concio15500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
16	CassoniPasserellaReno Concio16500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
17	CassoniPasserellaReno Concio17500/Pilone	0.00 (0)	100.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)
18	CassoniPasserellaReno Concio18500/Pilone	50.00 (2)	50.00 (2)	0.00 (0)	0.00 (0)	0.00 (0)

Elementi maggiormente sollecitati

Sezione	Max Elemento nodi	Max S_D/S_R
1 CassoniPasserellaReno Concio750/Pilone	411 413	0.04
2 CassoniPasserellaReno Concio2250/Pilone	404 410	0.06
3 CassoniPasserellaReno Concio3500/Pilone	401 405	0.46
4 CassoniPasserellaReno Concio4500/Pilone	399 401	0.42
5 CassoniPasserellaReno Concio5500/Pilone	396 398	0.47
6 CassoniPasserellaReno Concio6500/Pilone	394 396	0.44
7 CassoniPasserellaReno Concio7500/Pilone	393 395	0.45
8 CassoniPasserellaReno Concio8500/Pilone	391 393	0.43
9 CassoniPasserellaReno Concio9500/Pilone	389 391	0.41
10 CassoniPasserellaReno Concio10500/Pilone	387 389	0.40
11 CassoniPasserellaReno Concio11500/Pilone	385 387	0.39
12 CassoniPasserellaReno Concio12500/Pilone	383 385	0.38
13 CassoniPasserellaReno Concio13500/Pilone	381 383	0.38
14 CassoniPasserellaReno Concio14500/Pilone	379 381	0.38
15 CassoniPasserellaReno Concio15500/Pilone	377 379	0.37
16 CassoniPasserellaReno Concio16500/Pilone	329 377	0.37
17 CassoniPasserellaReno Concio17500/Pilone	252 329	0.37
18 CassoniPasserellaReno Concio18500/Pilone	94 230	0.35

5.4.4 Funi

Sforzo assiale massimo: $N_{sd} = 366 \text{ kN}$

Fune FLC 32:

Product code	d (mm)	$F_{u,k}^{(1)}$ (kN)	$F_{R,d}^{(2)}$ (kN)	A (mm ²)	EA (MN)	Mass (kg/m)
FLC 16	16	250	152	170	28.1	1.4
FLC 20	20	395	239	266	43.9	2.2
FLC 24	24	570	345	383	63.2	3.2
FLC 28	28	775	470	521	86.0	4.3
FLC 32	32	1015	615	681	112	5.7

Sforzo assiale resistente: $N_{rd} = 615 \text{ kN} > N_{sd} \rightarrow$ verifica soddisfatta

5.4.5 Corrimano

Spinta della folla sul corrimano: $q = 1.50 \text{ kN/ml}$

Luce: $L = 2.5 \text{ m}$

Momento flettente: $M_{sd} = \gamma q L^2 / 8 = 1.5 \times 1.50 \times 2.5 \times 2.5 / 8 = 1.75 \text{ kNm}$

Profilo CHS 60.3x3.0

Acciaio S355, Classe 1, $Z = 9859 \text{ mm}^3$ $M_{rd} = 3.33 \text{ kNm} \rightarrow$ verifica soddisfatta

5.5 Verifica di resistenza soletta mista lamiera grecata -cls

Lamiera grecata tipo HEDAR SolMax HS 5580/6

Altezza 55mm, spessore 10/10mm

Cls C32/40 per spessore complessivo 110mm

Armatura all'estradosso: B450C - 1 ϕ 8/greca + rete elettrosaldata ϕ 6 passo 100x100mm

Schema statico: trave continua su piú campate di luce $L = 2.5 \text{ m}$

5.5.1 Verifica in presenza di folla (dalle tabelle del Produttore)

Carico utile: Folla 5.00 kN/m² + Pavimentazione 0.70 kN/m² = 5.70 kN/m²

Lamiera grecata HS 5580/6 e Cls - H = 11 cm - Più campate

				Portata utile con carico uniformemente distribuito $p = q_{min} - p_p$ [daN/m ²] e freccia massima $< l / 500$																
sp. greca	p.p.	Af	Af'	l [m]																
				ϕ [mm]	ϕ [mm]	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
HS 5580 06	200	0	8	4.098	2.958	2.218	1.710	1.347	1.079	874	715	589	487	404	335	277	228	187	151	119
HS 5580 07	202	0	10	4.724	3.417	2.569	1.988	1.572	1.264	1.050	848	703	587	491	412	346	290	242	201	165
HS 5580 08	203	0	10	5.333	3.864	2.911	2.258	1.790	1.444	1.181	976	814	683	576	487	412	349	295	249	209
HS 5580 10	205	0	12	6.508	4.727	3.571	2.771	2.212	1.792	1.473	1.225	1.028	869	739	631	541	464	393	312	244
HS 5580 12	207	0	12	7.634	5.553	4.203	3.278	2.615	2.125	1.753	1.463	1.233	1.047	895	769	636	510	407	324	254

5.5.2 Verifiche in presenza di folla (calcoli di massima)

Resistenze di progetto:

Mrd(+)

Dalle tabelle, per L = 2.5m, schema: trave appoggiata:

Qtile = 13.42 kN/m² → Qtot = 13.42 + 2.07 = 15.49 kN/m².

Mamm = Qtot L² / 8 = 12.10 kNm/m posto $\gamma = 1.35$ → Mrd = 16.3 kNm/m

Con 5 greche/0.8m → Mrd = 2.61 kNm/greca

Mrd(-)

Considerando solo la sezione in c.a.:

Altezza utile d = 86mm

Af = 50mm²/greca

Mrd(-) = 0.9 d fyd Af = 0.9 x 86 mm x 391 N/mm² x 50 mm²/greca = 1.51 kNm/greca

Vrd

Considerando solo la sezione in c.a.:

Vrd(cls) = 3.53 kN/greca

Considerando solo la lamiera in acciaio:

$\lambda_w = 55 / (86.4 \times 1 \times 1) = 0.637 < 0.83 / 1.2 = 0.692$ → $\chi = \eta = 1.2$

Vrd(anima) = $\chi f_y h t / \sqrt{3} = 8.5$ kN/anima

Vrd(acciaio) = 17 kN/greca

Sollecitazioni di progetto:

Schema statico: trave continua su 4 appoggi, Luce L = 2.5m

$$qsd = 1.35 \times (2.05 + 0.70 + 5.00) \text{ kN/m}^2 = 10.46 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 1.67 \text{ kN/m/greca}$$

$$Vsd = 0.6 qsd L = 2.51 \text{ kN/greca} \rightarrow \text{OK}$$

$$Msd(+) = 1/12.5 qsd L^2 = 0.84 \text{ kNm/greca} \rightarrow \text{OK}$$

$$Msd(-) = 1/10 qsd L^2 = 1.05 \text{ kNm/greca} \rightarrow \text{OK}$$

5.5.3 Verifiche in fase di getto

Carichi:

$$P.p. = 2.05 \text{ kN/m}^2$$

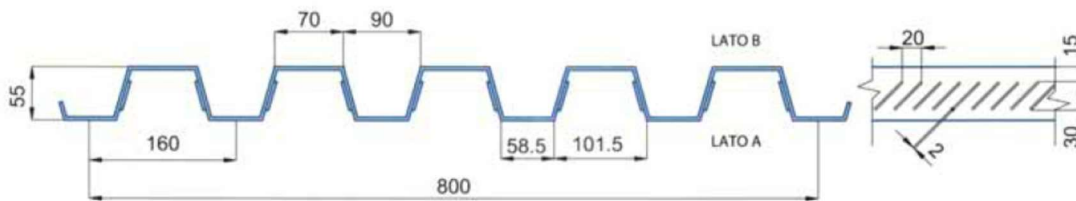
$$\text{Mezzi d'opera: } 1.00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carico totale: } Q_k = 3.05 \text{ kN/m}^2 \quad \text{assumendo } \gamma = 1.5 \rightarrow Q_{sd} = 4.58 \text{ kN/m}^2$$

Caratteristiche statiche lamiera (sp. 10/10mm)

$$W = 24.4 \text{ cm}^3/\text{m} \quad J = 75.9 \text{ cm}^4/\text{m}$$

LAMIERA GRECATA HS 5580/6



SV. 1250 mm

Fig. 4

Tabella caratteristiche statiche ed efficaci della lamiera grecata HS 5580/6

Spessore	P.p. Kg/m ²	STATICHE				EFFICACI				
		A cm ² /m	J cm ⁴ /m	W _c cm ³ /m	W _l cm ³ /m	A cm ² /m	J _f cm ⁴ /m	W _c cm ³ /m	W _l cm ³ /m	l min cm
6/10	7,50	9,6	48,1	17,3	17,6	8,3	40,7	12,3	16,4	2,3
7/10	8,75	10,9	55,9	20,1	20,5	9,6	49,2	15,1	19,3	2,3
8/10	10,00	12,5	63,6	22,9	23,4	11,4	57,9	18,1	22,2	2,3
10/10	12,50	15,6	78,8	28,3	29,0	14,8	75,9	24,4	28,1	2,3
12/10	15,00	18,8	93,7	33,7	34,5	18,2	93,5	31,1	34,0	2,3

Verifica di resistenza

$$M_{sd} = 1/10 Q_{sd} L^2 = 2.86 \text{ kNm/m}$$

$$M_{rd} = W f_{yd} = (24.4 \times 1000) \times 235 / 1.05 = 5.46 \text{ kNm/m}$$

Verifica di deformabilità

$$\text{Freccia } f \cong 2.74/384 Q_k L^4 / E / J = 2.74/384 \times 3.05 \times 2500^4 / 210000 / (75.9 \times 10000) = 5.2 \text{ mm}$$

$$(\rightarrow L/f = 479)$$

5.5.4 Verifiche in presenza di mezzo a 4 ruote

Si assume la presenza esclusiva sull'impalcato di un mezzo a 4 ruote con passo longitudinale 2.5m e trasversale 1.3m, posto in asse ponte. Carico trasmesso da 1 ruota: 17 kN, impronta B = 200mm x 200mm.

Supponendo la presenza di pavimentazione con 20mm di spessore, la diffusione fino al piano medio della soletta (H = 110mm) risulta essere B' = 350mm x 350mm e quindi interessa in senso trasversale nr. 2.18 greche.

Nel caso di carico applicato in mezzzeria campata, l'effetto lastra permette di considerare una larghezza trasversale di soletta coinvolta pari a $B_{eff} = B' + 2 L / 4 = 350 + 2 \times 2500 / 4 = 1600 \text{ mm}$ equivalente a nr. 10 greche. Siccome il passo trasversale assunto è di 1300mm (< 1600mm) si considera $B_{eff} = 1300 \text{ mm}$ equivalente a nr. 8.125 greche.

Vengono considerati 2 casi:

- 1) Ruote a metà campata;
- 2) Ruote in prossimità dell'appoggio.

Contributo dei carichi permanenti concomitanti:

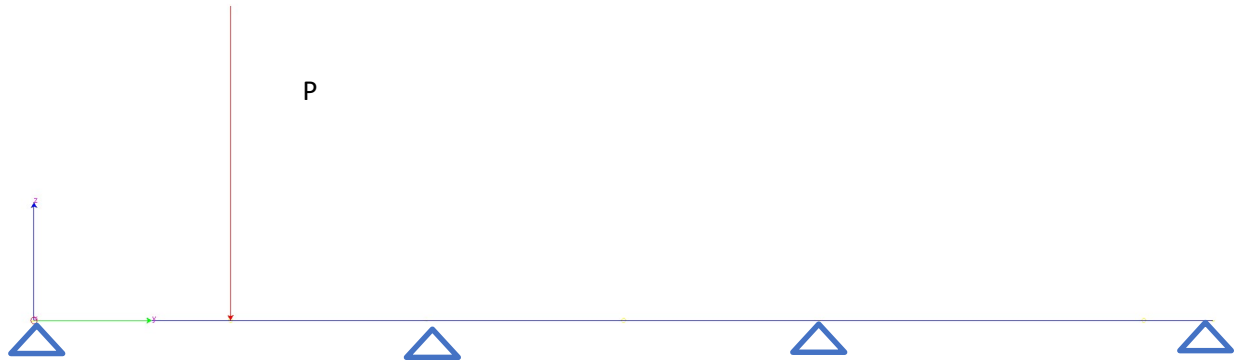
$$V_{sd}(G_k) = 0.6 \gamma G_k L \text{ passo_greche} = 0.6 \times 1.35 \times (2.05 + 0.70) \text{ kN/m}^2 \times 2.5 \text{ m} \times 0.16 \text{ m} = 0.89 \text{ kN/greca}$$

$$M_{sd(+)}(G_k) = -1/12.5 \gamma G_k L^2 \text{ passo_greche} = 1/12.5 \times 1.35 \times (2.05 + 0.70) \text{ kN/m}^2 \times 2.5^2 \text{ m}^2 \times 0.16 \text{ m} = 0.30 \text{ kNm/greca}$$

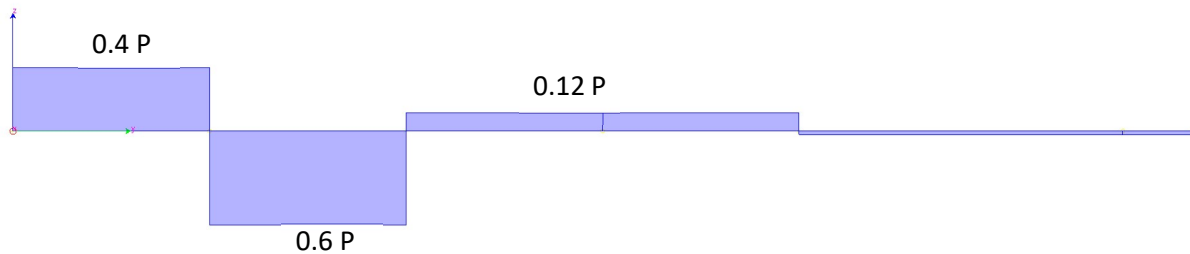
$$M_{sd(-)}(G_k) = -1/10 \gamma G_k L^2 \text{ passo_greche} = -1/10 \times 1.35 \times (2.05 + 0.70) \text{ kN/m}^2 \times 2.5^2 \text{ m}^2 \times 0.16 \text{ m} = -0.37 \text{ kNm/greca}$$

Caso 1) Ruote a metà campata

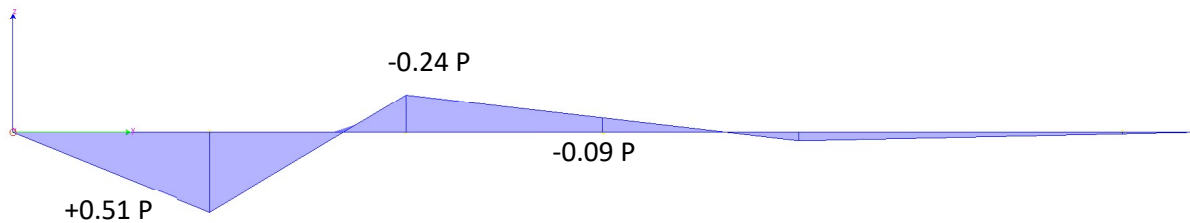
Contributo delle ruote:



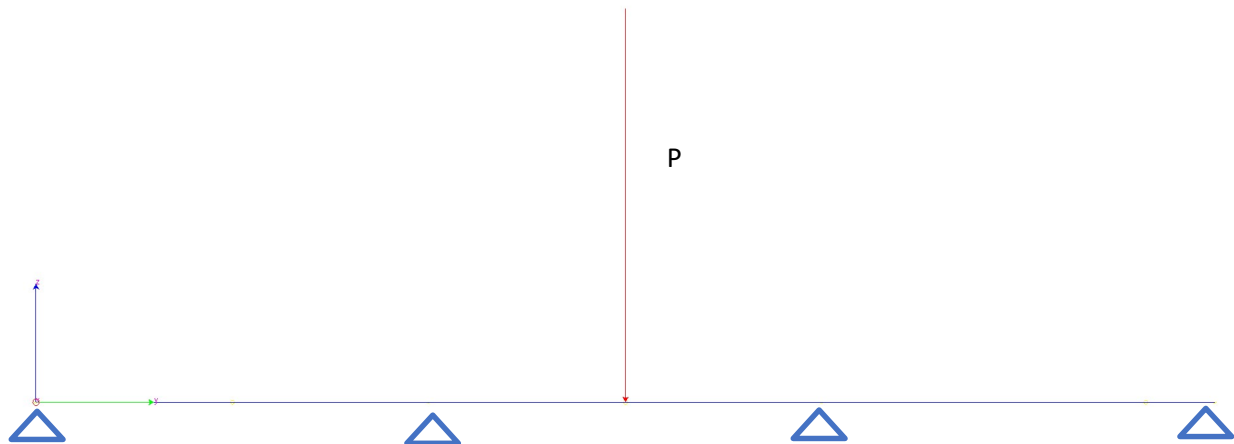
Ruota in campata sinistra – Schema statico



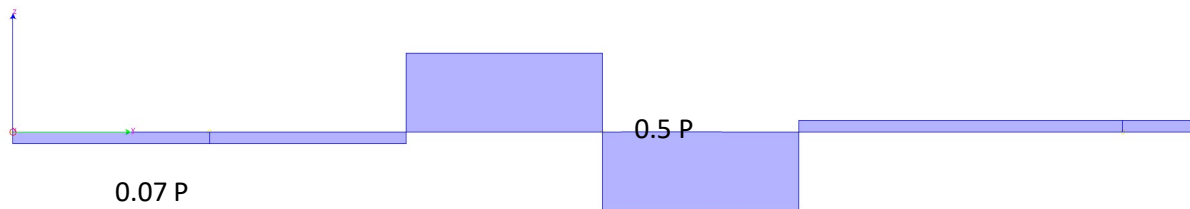
Ruota in campata sinistra – Diagramma Taglio



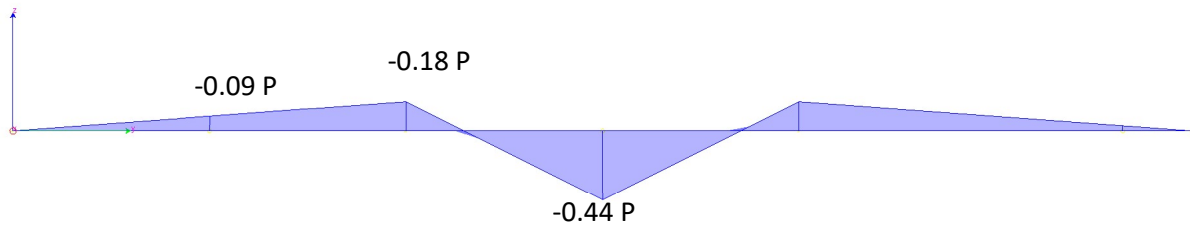
Ruota in campata sinistra – Diagramma Momento flettente



Ruota in campata centrale – Schema statico



Ruota in campata centrale – Diagramma Taglio



Ruota in campata centrale – Diagramma Momento flettente

Sollecitazioni massime in presenza di una o due ruote:

$$V_{\max} = 0.6 P + 0.07 P = 0.67 P$$

$$M_{\max(+)} = +0.51 P$$

$$M_{\max(-)} = -0.24 P - 0.18 P = -0.42 P$$

Sollecitazioni totali

$$V_{sd_tot} = 0.89 \text{ kN/greca} + 0.67 \times 17 \text{ kN} / 8.125 \text{ greche} = 2.14 \text{ kN/greca} < V_{rd}(cls) \rightarrow \text{OK}$$

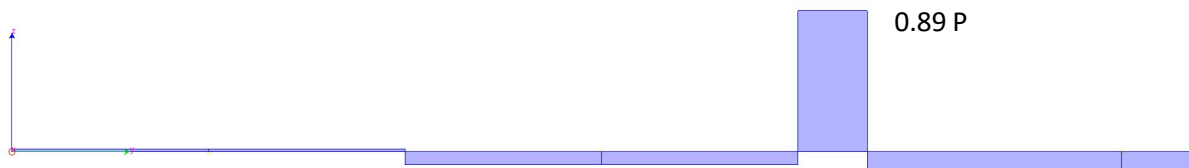
$$M_{sd(+)}_{tot} = 0.30 \text{ kNm/greca} + 0.51 \times 17 \text{ kN} / 8.125 \text{ greche} = +1.36 \text{ kNm/greca} < M_{rd(+)} \rightarrow \text{OK}$$

$$M_{sd(-)}_{tot} = -0.37 \text{ kNm/greca} - 0.42 \times 17 \text{ kN} / 8.125 \text{ greche} = -1.25 \text{ kNm/greca} < M_{rd(-)} \rightarrow \text{OK}$$

Caso 2) Ruota in prossimità dell'appoggio



Ruota in a $x = 0.44\text{m}$ dall'appoggio (\rightarrow impronta B' esterna all'ala profilo) – Schema statico



Ruota in a $x = 0.44\text{m}$ dall'appoggio – Diagramma Taglio

Nr. greche: 2.18 greche

$V_{sd_tot} = 0.89 \text{ kN/greca} + 0.89 \times 17 \text{ kN} / 2.18 \text{ greche} = 7.83 \text{ kN/greca} < V_{rd}(\text{lamiera}) \rightarrow \text{OK}$

6 Stima delle quantità

Si riporta il peso teorico ricavato dal modello matematico considerando la sezione costante a tratti (se variabile lungo l'elemento strutturale) per le lunghezze da nodo a nodo corrispondenti.

Non sono compresi i pesi di piatti di nodo e di irrigidimento, saldature, bullonature, dettagli:

Per tenere conto di quanto escluso il peso teorico così ricavato viene incrementato del 20%.

6.1 Trave reticolare spaziale

Sezione	Tipo	Commento	Peso Unitario [kN/m]	Lunghezza Tot. [m]	Area Bagnata Tot. [m ²]	Peso Tot. [kN]
101	CHS_EN10219 244.5X12.0	Corrente Long Inf	0.69	77.559	59.6	53
111	CHS_EN10219 244.5X12.5	Corrente Long Inf rinf	0.72	2.5	1.9	2
201	CHS_EN10219 114.3X5.0	Diagonali di Parete	0.13	237.609	85.3	32
301	CHS_EN10219 177.8X8.0	Corrente Long Sup	0.34	100	55.9	34
311	CHS_EN10219 177.8X12.0	Corrente Long Sup Rinf	0.49	60.119	33.6	29
401	CHS_EN10219 114.3X5.0	Traversi Sup	0.13	45.004	16.2	6
501	CHS_EN10219 114.3X6.0	Diagonali Orizzontali Reticola	0.16	93.348	33.5	15
601	CHS_EN10219 177.8X8.0	Aste Aggancio Impalcato	0.34	156.372	87.3	52
701	CHS_EN10219 177.8X8.0	Ritegno trasversale	0.34	3.176	1.8	1
103	CHS_EN10219 177.8X8.0	Appoggi centrali	0.34	3.303	1.8	1
			TOT	778.991	376.9	226

Peso teorico: 226 kN

Peso presunto reale: 226 kN + 20% = 271.2 kN

6.2 Impalcato, montanti e corrimano

Peso teorico: 62 kN

Peso presunto reale: 62 kN + 20% = 74.4 kN

6.3 Pennoni

Sezione	Tipo	Peso Unitario [kN/m]	Sup. Bagnata Unitaria [m ²]	Lunghezza Tot. [m]	Area Bagnata Tot. [m ²]	Peso Tot. [kN]
1	CassoniPasserellaReno Concio750	0.86	1.5	3	4.5	3
2	CassoniPasserellaReno Concio2250	1.24	2.1	3	6.3	4
3	CassoniPasserellaReno Concio3500	1.84	2.8	1.996	5.5	4
4	CassoniPasserellaReno Concio4500	2.1	3.2	1.996	6.3	4
5	CassoniPasserellaReno Concio5500	2.35	3.6	1.996	7.1	5
6	CassoniPasserellaReno Concio6500	2.61	4	1.996	7.9	5
7	CassoniPasserellaReno Concio7500	2.87	4.4	1.996	8.8	6
8	CassoniPasserellaReno Concio8500	3.13	4.8	1.996	9.6	6
9	CassoniPasserellaReno Concio9500	3.38	5.2	1.996	10.4	7
10	CassoniPasserellaReno Concio10500	3.64	5.6	1.996	11.2	7
11	CassoniPasserellaReno Concio11500	3.9	6	1.996	12	8
12	CassoniPasserellaReno Concio12500	4.15	6.4	1.996	12.8	8
13	CassoniPasserellaReno Concio13500	4.41	6.8	1.996	13.7	9
14	CassoniPasserellaReno Concio14500	4.67	7.3	1.996	14.5	9
15	CassoniPasserellaReno Concio15500	4.92	7.7	1.996	15.3	10
16	CassoniPasserellaReno Concio16500	5.18	8.1	1.996	16.1	10
17	CassoniPasserellaReno Concio17500	5.44	8.5	1.996	16.9	11
18	CassoniPasserellaReno Concio18500	5.69	8.9	1.996	17.7	11
				37.943	196.8	127

Peso teorico: 127 kN (esclusa base di collegamento tra i pennoni)

Stima irrigidimenti interni: 21 kN

Peso presunto reale: si incrementa del 20% il peso totale ottenuto per tenere conto della base di collegamento tra i pennoni

$$(127 \text{ kN} + 21 \text{ kN}) \times 1.20 = 152.6 \text{ kN}$$

6.4 Funi e capicorda

Funi FLC 32 Redaelli (o equivalenti)

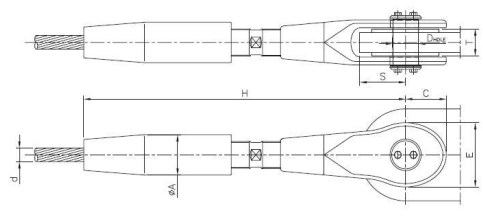
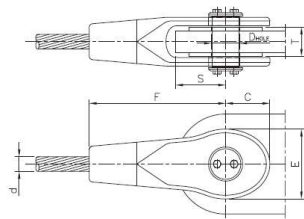
N. Aste	Luce [m]	Peso unitario [kN/m]	Luce totale [m]	Peso Totale [kN]
4	29.815	0.057	119.262	6.8
4	25.462	0.057	101.848	5.8
4	21.433	0.057	85.732	4.9
12		0	306.842	17.5

Capicorda:

Tipologie: Redaelli (o equivalenti)

estremità superiore: capocorda a forcella TTF 28, peso unitario 0.12 kN, nr. 12;

estremità inferiore: capocorda a forcella regolabile TBF, peso unitario 0.24 kN, nr. 12.



6.5 Solaio misto lamiera grecata e cls collaborante

Area totale: 293.5 m²

Lamiera grecata tipo HEDAR SolMax HS 5580/6

Altezza 55mm, spessore 10/10mm, peso 0.125 kN/m²

Peso totale = 36.7 kN

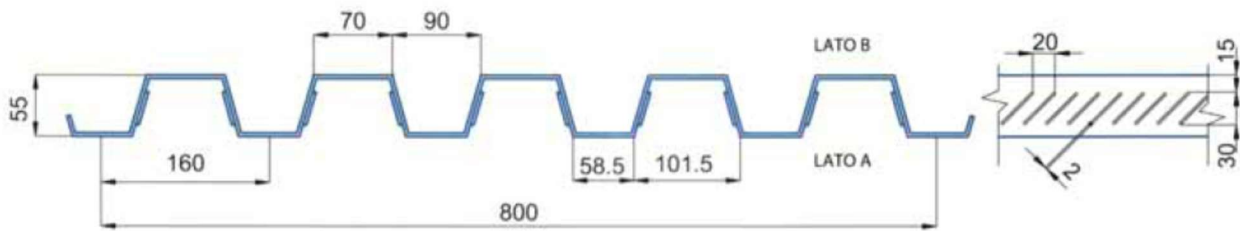
Cls C32/40 per spessore complessivo 110mm

Volume cls: 0.08 m³/m² → Volume totale = 23.6 m³

Armatura all'estradosso: B450C - 1φ8/greca + rete elettrosaldata φ6 passo 100x100mm

Incidenza: 0.95 kN/m² → 2.79 kN

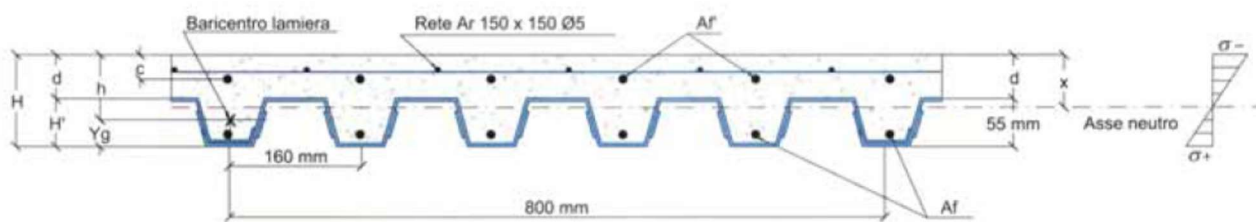
LAMIERA GRECATA HS 5580/6



SV. 1250 mm

Fig. 4

LAMIERA GRECATA HS 5580/6 E CLS - H = 11 CM



**Passerella ciclopedonale fiume Reno – Sasso
Marconi**

Progetto Definitivo

**Relazione tecnica delle strutture metalliche
ALLEGATO 2**

STR_REL_6_4

Sommario

1	Premessa	3
2	Descrizione del modello matematico.....	3
2.1	Premessa	3
2.2	Viste e numerazioni.....	4
2.3	Materiali e sezioni	4
2.3.1	Materiali	4
2.3.2	Sezioni	5
2.4	Carichi e azioni	6
2.5	Condizioni e combinazioni di carico.....	6
3	Principali risultati dell’analisi frequenziale.....	8
4	Principali risultati dell’analisi statica e dinamica.....	9
4.1	Deformate e spostamenti	9
4.2	Sollecitazioni.....	12
4.3	Scarichi in fondazione	17
4.3.1	Reazione globale	17
5	Verifiche	19
5.1	Verifiche di deformabilità.....	19
5.2	Verifiche di comfort vibrazionale dei pedoni.....	19
5.3	Verifica di resistenza delle membrature in acciaio	21
5.3.1	Ritti in c.a.....	23
5.4	Verifica di resistenza solaio	28
5.4.1	Verifiche traliccio lastra in fase di getto.....	29

1 Premessa

Il presente documento costituisce un Allegato della Relazione Tecnica delle strutture della Passerella ciclopedonale sul fiume Reno e contiene i principali risultati dell'analisi statica e dinamica condotta sui modelli matematici dei moduli delle rampe di accesso.

Per le fondazioni vedere la "Relazione di calcolo delle opere in cemento armato e relative fondazioni".

2 Descrizione del modello matematico

2.1 Premessa

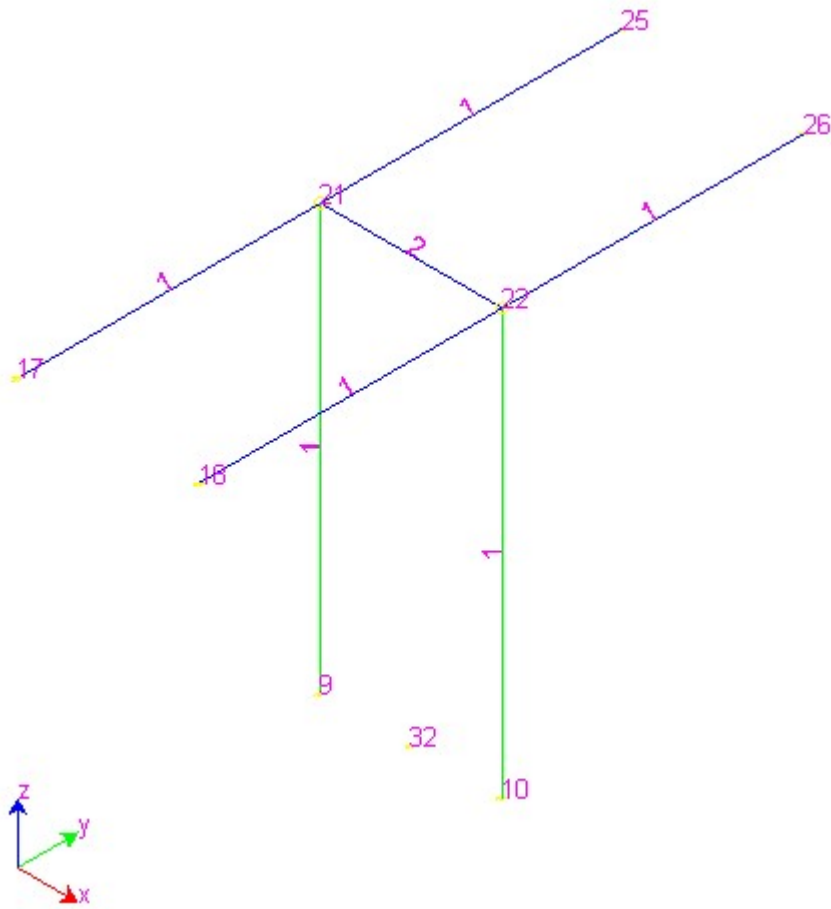
Sono stati implementati i modelli matematici che considerano il telaio in c.a. avente altezza di 7m e 3m rispettivamente, con larghezza 3m. Su essi si appoggiano gli impalcati di luce 5m (modelli: "Rampa cat. B, Classe II, folla massa nulla.dt", "Rampa H=3 cat. B, Classe II, folla massa nulla.dt").

I ritti ed il traverso in c.a. hanno sezione 50cm x 50cm e 35cm x 35cm rispettivamente, i profili longitudinali perimetrali dell'impalcato sono in acciaio S235 del tipo HEA220, l'impalcato è costituito da un solaio Predalle di altezza complessiva 30cm e ordito in senso trasversale.

I ritti sono considerati incastrati alla base.

In senso orizzontale sia longitudinale che trasversale ogni telaio è soggetto all'influenza di un campo 3m x 5m di impalcato.

2.2 Viste e numerazioni



Assonometria con numerazione nodale e sezioni

2.3 Materiali e sezioni

2.3.1 Materiali

Materiale Numero	Info	E	ν	α	Peso Specifico
		[MPa]		1/[1/°C]	[kN/m ³]
1	Cls	30000	0.33	0.000012	25.0
2	Acciaio	210000	0.33	0.00001	78.5

2.3.2 Sezioni

Ritti- Elementi tipo “beam”

Sezione nr.	Materiale		
1	1	B= 50 H= 50	Rett. Ritto portale H=7m
1	1	B= 50 H= 50	Rett. Ritto portale H=3m

Sezione	Area	J3	J2	J23	Jt	Xx	Xy
	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]		
1	2500.00	520833	520833	0	878599	1.2	1.2
1	1225.00	125052	125052	-0	210952	1.2	1.2

Travi – Elementi tipo “beam”

Sezione nr.	Materiale		
1	2		HEA 220 Impalcato(D.B.)
2	1	B= 50 H= 50	Rett. Traverso portale H=7m
2	1	B= 35 H= 35	Rett. Traverso portale H= 3m

Sezione	Area	J3	J2	J23	Jt	Xx	Xy
	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ⁴]		
1	64.46	5419	1955	0	28	4.1	1.4
2	2500.00	520833	520833	0	878599	1.2	1.2
	1225.00	125052	125052	-0	210952	1.2	1.2

2.4 Carichi e azioni

Per i dettagli delle azioni di progetto vedere la Relazione Tecnica.

Aree di carico:

Area	Numero	Commento	A _x	A _y	A _z	Area	Carichi unitari per condizione				Carichi Totali			
			[m ²]	[m ²]	[m ²]		[m ²]	Cond.	q _x	q _y	q _z	Applicato	Q _x	Q _y
								[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	Riferimento	[kN]	[kN]	[kN]
	1	Area 1	0	0	30.0	30.0	2	0	0	0.70	Global	0	0	21
							3	0	0	5.40	Global	0	0	162
							4	0	0	5.00	Global	0	0	150

2.5 Condizioni e combinazioni di carico

Condizioni di carico:

Condizione	
1	P.p. x 1.15
2	Pavimentazione
3	Solaio
4	Folla
5	Parapetto
6	Sisma Trasv.SLU
7	Sisma Long.SLU

Combinazioni di carico SLU

		1	2	3	4	5
	SLU	P.p. x 1.15	Pavimentazione	Solaio	Folla	Parapetto
Nr.						
1	Permanenti	1.35	1.35	1.35	0.00	1.35
2	Folla totale	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35

Combinazioni di carico SLV

		1	2	3	4	5	6	7
	SLV	P.p. x 1.15	Pavimentazione	Solaio	Folla	Parapetto	Sisma Trasn.SLU	Sisma Long.SLU
Nr.								
1	SLV	1	1	1	0	1	0	0
2	SLV Earthq.+X+Y	1	1	1	0	1	1	0.3
3	SLV Earthq.+X-Y	1	1	1	0	1	1	-0.3
4	SLV Earthq.-X+Y	1	1	1	0	1	-1	0.3
5	SLV Earthq.-X-Y	1	1	1	0	1	-1	-0.3
6	SLV Earthq.+Y+X	1	1	1	0	1	0.3	1
7	SLV Earthq.+Y-X	1	1	1	0	1	-0.3	1
8	SLV Earthq.-Y+X	1	1	1	0	1	0.3	-1
9	SLV Earthq.-Y-X	1	1	1	0	1	-0.3	-1

Combinazioni di carico SLE

		1	2	3	4	5
	SLE	P.p. x 1.15	Pavimentazione	Solaio	Folla	Parapetto
Nr.						
1	Permanenti	1	1	1	0	1
2	Folla totale	1	1	1	1	1

3 Principali risultati dell’analisi frequenziale

L’analisi frequenziale è stata condotta su entrambi i modelli analizzati.

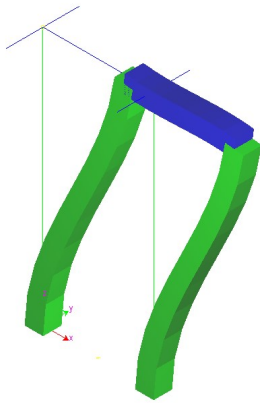
Legenda

R	ordinata dello spettro
Coeff.di Part.	coefficienti di partecipazione (in letteratura g_{ij})
$ L_i / L_1 $	rapporto percentuale fra i fattori di partecipazione del modo i-esimo e del primo modo
Mmi/Mmtot	percentuale massa modale efficace dell’i-esimo modo
Sum Mmi/Mmtot	percentuale cumulativa delle masse modali efficaci

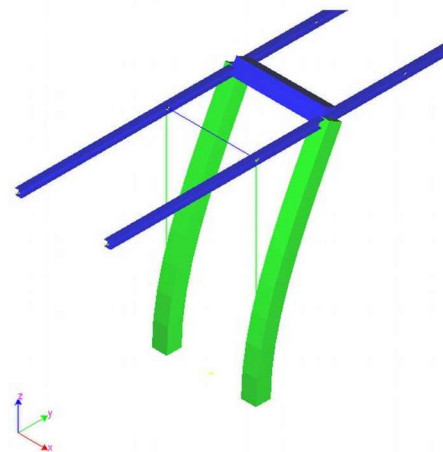
Analisi spettrale via vettori di Ritz

Smorzamento strutturale 5.0 %

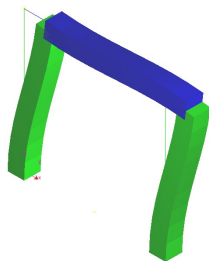
risposta $S = CQC(S_i)$



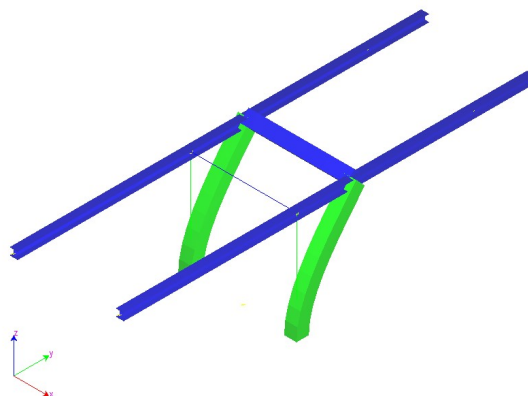
Modo traslazionale dir. X – T = 0.28 sec



Modo traslazionale dir. Y – T = 0.49 sec



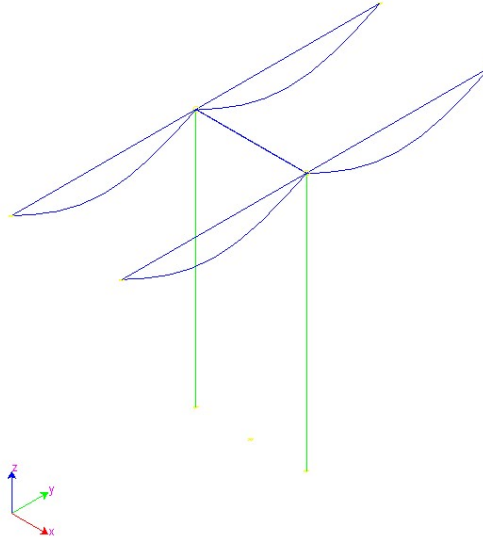
Modo traslazionale dir. X – T = 0.16 sec



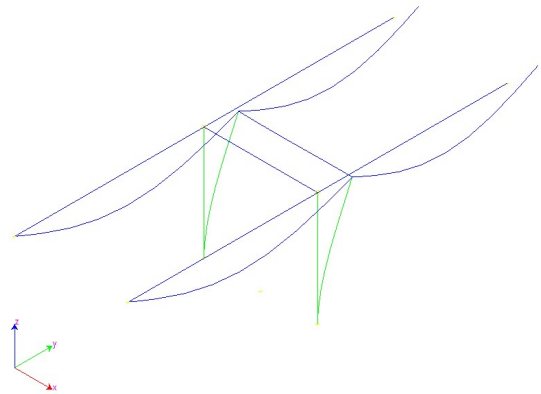
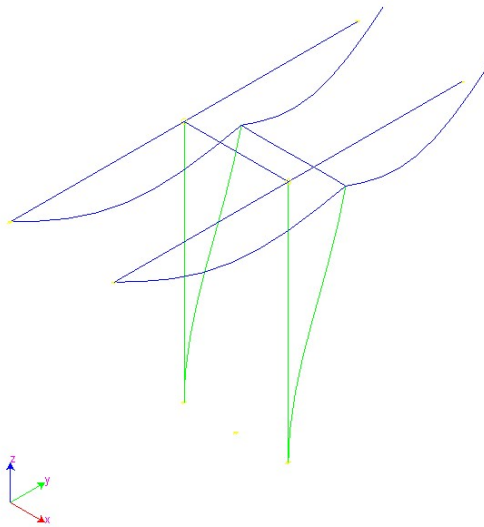
Modo traslazionale dir. Y – T = 0.26 sec

4 Principali risultati dell'analisi statica e dinamica

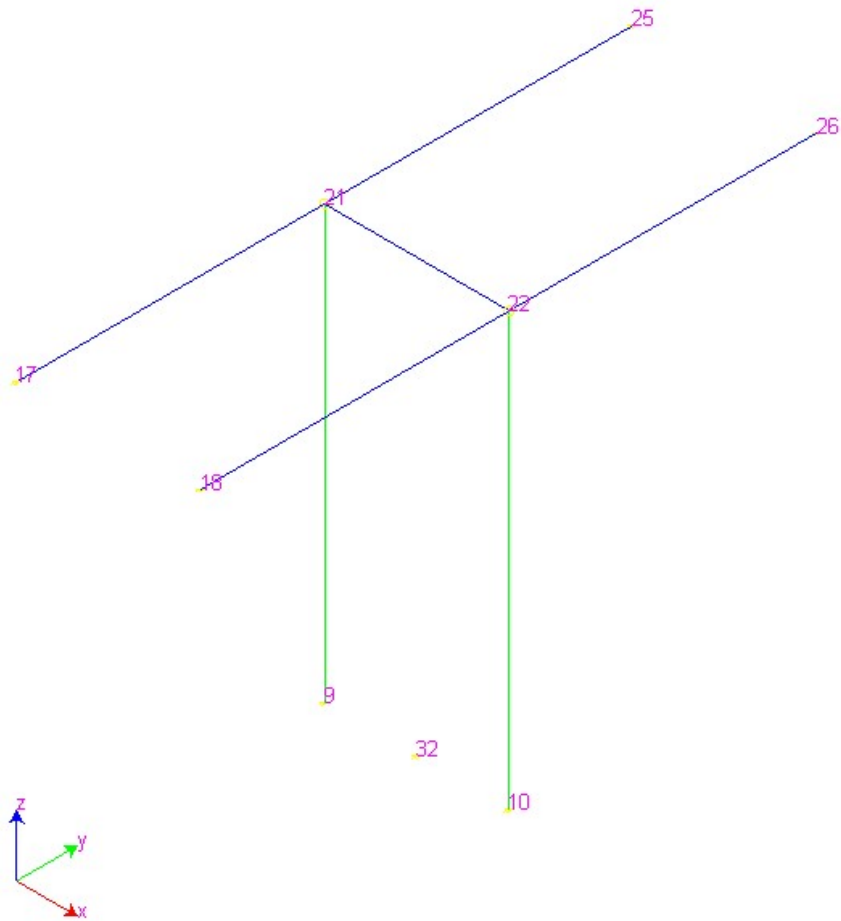
4.1 Deformate e spostamenti



Combinazione 2 SLE – Permanenti + Folla



Piloni, stralli e correnti superiori - Combinazione 6 SLV - SLV Earthq.+Y+X



Nodi con spostamenti monitorati

Nodo n. 22 (telaio H = 7m)

Combinazioni SLU

Comb.	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
	[cm]	[cm]	[cm]	[deg]	[deg]	[deg]
1	0	0	0	0	-0.00188	0
2	0	0	0	0	-0.00188	0

Combinazioni SLV

Comb.	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz
	[cm]	[cm]	[cm]	[deg]	[deg]	[deg]
3	0	0	0	0	-0.0014	0
4	0.9	0.7	0	-0.08984	0.02695	0
5	0.9	-0.7	0	0.08984	0.02695	0
6	-0.9	0.7	0	-0.08984	-0.02974	0
7	-0.9	-0.7	0	0.08984	-0.02974	0

8	0.3	2.4	0	-0.29948	0.00711	0
9	-0.3	2.4	0	-0.29948	-0.0099	0
10	0.3	-2.4	0	0.29948	0.00711	0
11	-0.3	-2.4	0	0.29948	-0.0099	0

Combinazioni SLE

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
12	0	0	0	0	-0.0014	0
13	0	0	0	0	-0.0014	0

Nodo n. 22 (telaio H = 3m)

Combinazioni SLU

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
	-0.0	0.0	-0.0	0.00000	-0.00493	0.00000
2	-0.0	0.0	-0.0	0.00000	-0.00493	0.00000

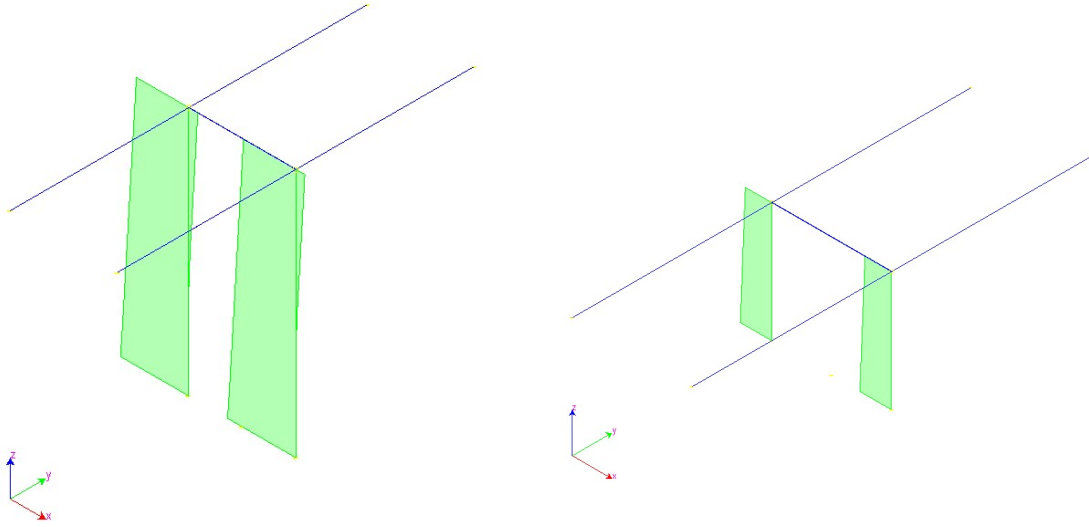
Combinazioni SLV

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
	-0.0	0.0	-0.0	0.00000	-0.00365	0.00000
4	0.3	0.2	-0.0	-0.06977	0.03136	0.00000
5	0.3	-0.2	-0.0	0.06977	0.03136	-0.00000
6	-0.3	0.2	-0.0	-0.06977	-0.03866	0.00000
7	-0.3	-0.2	-0.0	0.06977	-0.03866	-0.00000
8	0.1	0.8	-0.0	-0.23256	0.00685	0.00000
9	-0.1	0.8	-0.0	-0.23256	-0.01416	0.00000
10	0.1	-0.8	-0.0	0.23256	0.00685	-0.00000
11	-0.1	-0.8	-0.0	0.23256	-0.01416	-0.00000

Combinazioni SLE

Comb.	Ux [cm]	Uy [cm]	Uz [cm]	Rx [deg]	Ry [deg]	Rz [deg]
12	-0.0	0.0	-0.0	0.00000	-0.00365	0.00000
13	-0.0	0.0	-0.0	0.00000	-0.00365	0.00000

4.2 Sollecitazioni



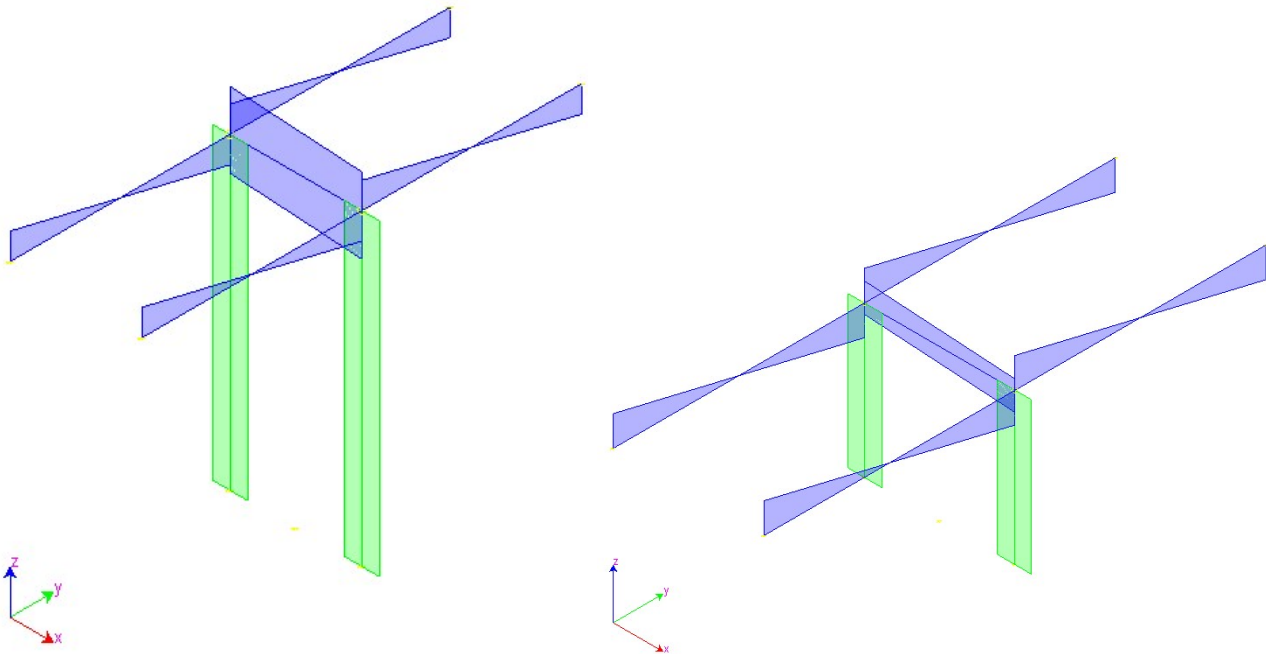
Sforzo assiale – Involuppo Comb.

H=7m

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastri 9 21 (2)	192 9 21 (4)	-25

H=3m

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastri 9 21 (2)	158 9 21 (4)	32



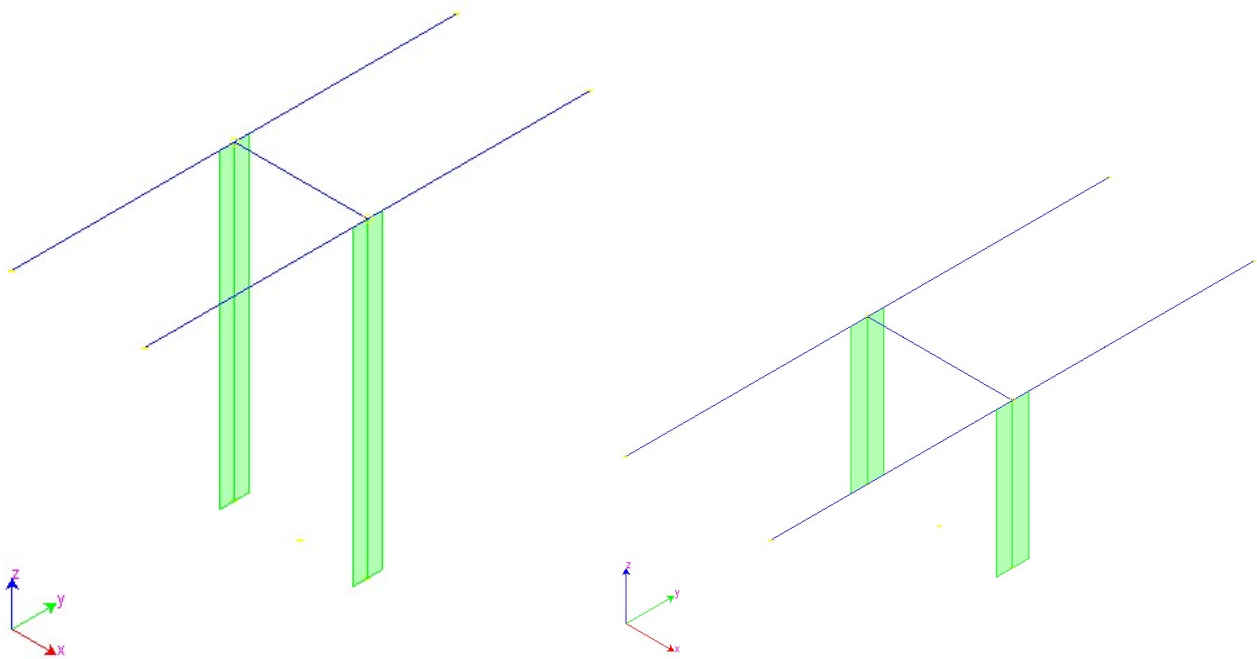
Taglio 1-2 – Involuppo Comb.

H = 7m

Sez		Max [kN]	Min [kN]
1	Pilastri 10 22 (4)	40	9 21 (7) -40
1	Travi 17 21 (2)	60	17 21 (2) -60
2	Travi 21 22 (7)	95	21 22 (4) -95

H = 3m

Sez		Max [kN]	Min [kN]
1	Pilastri 10 22 (4)	35	9 21 (7) -35
1	Travi 17 21 (2)	60	17 21 (2) -60
2	Travi 21 22 (7)	38	21 22 (4) -38



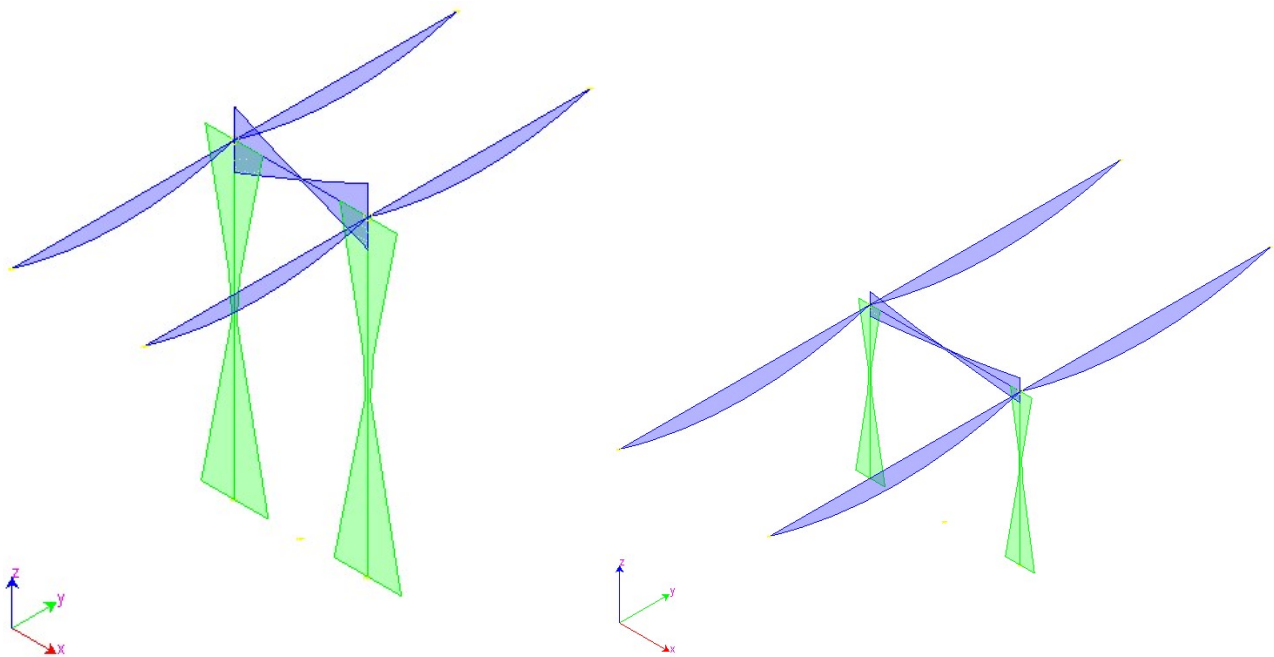
Taglio 1-3 – Inviluppo Comb.

H = 7m

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastri 9 21 (8)	33 9 21 (10)	-33

H=3m

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastri 9 21 (8)	34 9 21 (10)	-34



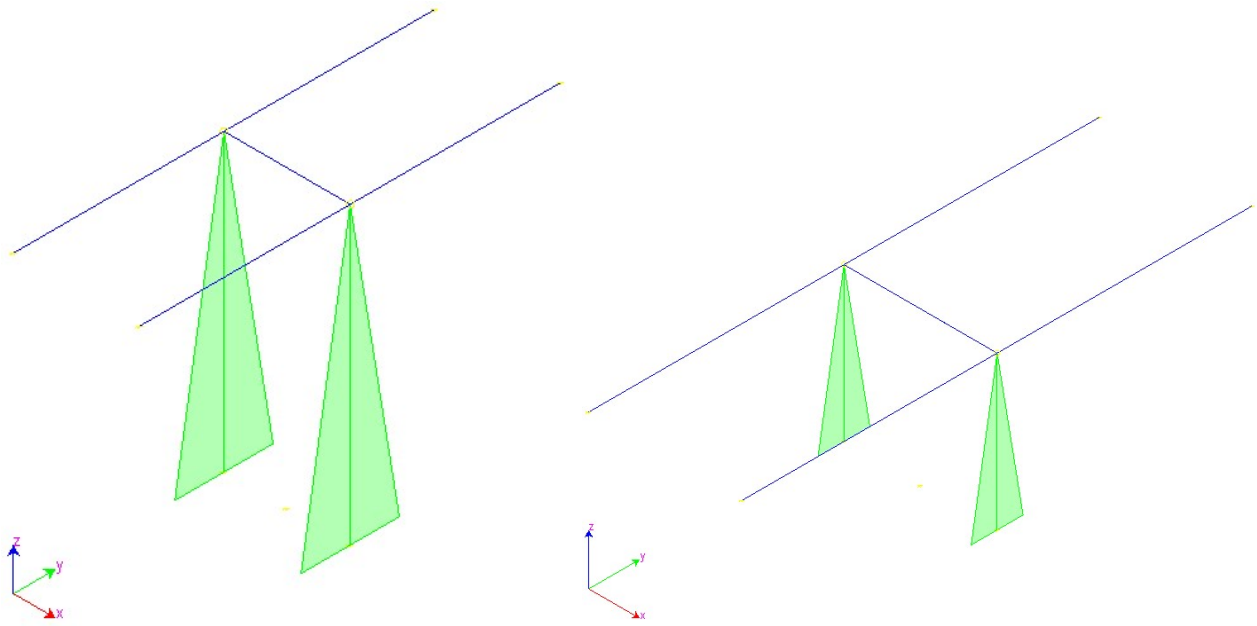
Momento flettente 1-2 – Involuppo Comb.

H = 7m

Sez		Max [kN]	Min [kN]
1	Travi 17 21 (13)	0	17 21 (2) -75
2	Travi 21 22 (7)	131	21 22 (4) -126
1	Pilastri 10 22 (4)	152	9 21 (7) -152

H = 3m

Sez		Max [kNm]	Min [kNm]
1	Travi 17 21 (13)	0	17 21 (2) -75
2	Travi 21 22 (7)	46	21 22 (4) -40
1	Pilastri 10 22 (4)	60	9 21 (7) -60



Momento flettente 1-3 – Involuppo Comb.

H=7m

Sez	Max [kN]	Min [kN]
1 Pilastri 9 21 (8)	233	-233

H=3m

Sez	Max [kNm]	Min [kNm]
1 Pilastri 9 21 (8)	102	-102

4.3 Scarichi in fondazione

4.3.1 Reazione globale

H=7m

Combinazioni SLU

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1	0	0	282	0	0	0
2	0	0	383	0	0	0

Combinazioni SLV

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
3	0	0	209	0	0	0
4	-80	-20	209	140	-559	0
5	-80	20	209	-140	-559	0
6	80	-20	209	140	559	0
7	80	20	209	-140	559	0
8	-24	-67	209	467	-168	0
9	24	-67	209	467	168	0
10	-24	67	209	-467	-168	0
11	24	67	209	-467	168	0

Combinazioni SLE

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
12	0	0	209	0	0	0
13	0	0	284	0	0	0

H=3m

Combinazioni SLU

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1	0	0	215	0	-0	0
2	0	0	316	0	-0	0

Combinazioni SLV

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
3	0	0	159	0	0	0
4	-68	-20	159	61	-204	0
5	-68	20	159	-61	-204	0
6	68	-20	159	61	204	0
7	68	20	159	-61	204	0
8	-20	-68	159	203	-61	-0
9	20	-68	159	203	61	0
10	-20	68	159	-203	-61	0
11	20	68	159	-203	61	0

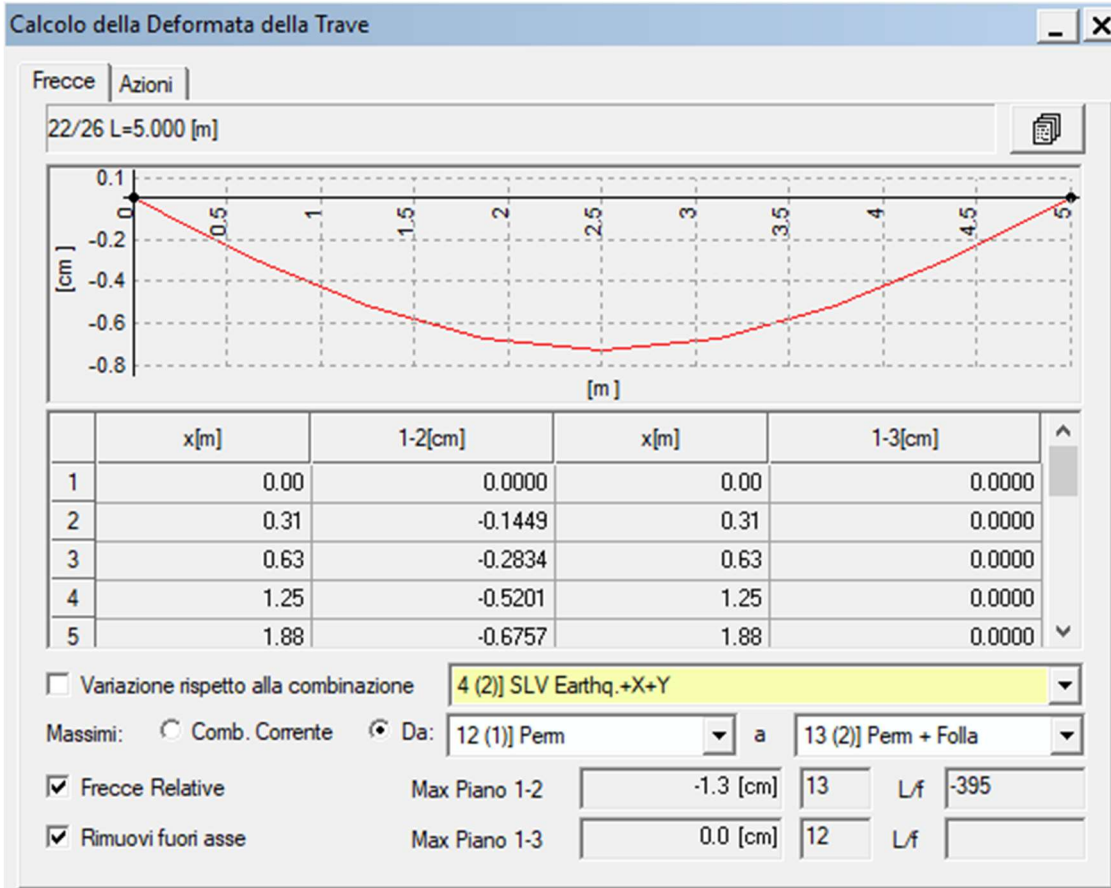
Combinazioni SLE

Combinazione	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
12	0	0	159	0	0	0
13	0	0	234	0	0	0

5 Verifiche

5.1 Verifiche di deformabilità

Calcolo del rapporto Luce/freccia su campata L = 5m:



Rapporto Luce/freccia = 395 (Nota: valore sottostimato in quanto ottenuto considerando solo la rigidità flessionale del profilo metallico e trascurando la connessione con il cordolo superiore in c.a.)

5.2 Verifiche di comfort vibrazionale dei pedoni

Con riferimento al documento “Hivoss “Human induced vibrations of steel structures” – RFS2-CT-2007-00033 – Design of footbridges – Guideline” si è operato un confronto tra le frequenze naturali della passerella e quelle all’interno dell’intervallo “critico” indicato al p.to 4.2 di seguito riportato:

4.2 Step 2: Check of critical range of natural frequencies

The critical ranges for natural frequencies f_i of footbridges with pedestrian excitation are:

- for vertical and longitudinal vibrations:

$$1,25 \text{ Hz} \leq f_i \leq 2,3 \text{ Hz}$$

- for lateral vibrations: $0,5 \text{ Hz} \leq f_i \leq 1,2 \text{ Hz}$

Footbridges with frequencies for vertical or longitudinal vibrations of

$$2,5 \text{ Hz} \leq f_i \leq 4,6 \text{ Hz}$$

might be excited to resonance by the 2nd harmonic of pedestrian loads [1]. In that case, the critical frequency range for vertical and longitudinal vibrations expands to:

$$1,25 \text{ Hz} \leq f_i \leq 4,6 \text{ Hz}$$

Lateral vibrations are not effected by the 2nd harmonic of pedestrian loads.

Note: A vertical vibration excitation by the second harmonic of pedestrian forces might take place. Until now there is no hint in the literature that onerous vibration of footbridges due to the second harmonic of pedestrians have occurred.

Di seguito sono riportate le frequenze naturali e l'esito del controllo:

H = 7m

f [Hz]	T [sec]	Dir.	Check	
2.04	0.49	Y	Critical	Portale – Traslazionale longitudinale

H = 3m

f [Hz]	T [sec]	Dir.	Check	
3.85	0.26	Y	Not Critical	Portale – Traslazionale longitudinale

Trave

f [Hz]	T [sec]	Dir.	Check	
6.57	0.15	Z	Not Critical	Trave - Verticale

Si osserva che le frequenze principali sono fuori dal range critico tranne quella longitudinale associata al portale H=7m. Si osserva comunque che H=7m è il caso peggiore di una porzione di rampa che è comunque solidale a portali di altezza minori quindi più rigidi e con una frequenza globale sicuramente maggiore.

Nel progetto esecutivo l'analisi sarà approfondita con la modellazione dell'intero modulo di rampa.

5.3 Verifica di resistenza delle membrature in acciaio

VERIFICHE TRAVE DAL NODO 21 AL NODO 25 / Sez. 1 HEA 220 (Impalcato)

DATI GENERALI

Luce dell'asta 5.000 [m]

Sezione numero 1 HEA 220 (Impalcato)

$\beta_{1-2/x-x}$ 1.00

$\beta_{1-3/y-y}$ 1.00

Materiale Acciaio S 235 (FE 360)

f_y 235.00 [MPa]

f_u 360.00 [MPa]

ϵ 1.00

Coefficienti di sicurezza:

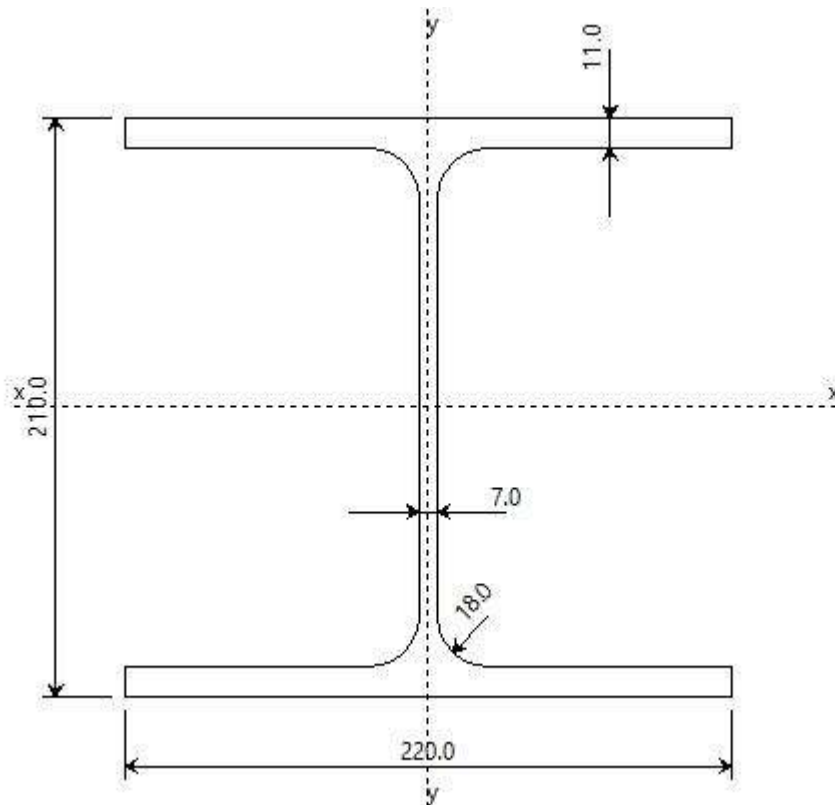
γ_{Mo} 1.10

γ_{M1} 1.10

γ_{M2} 1.25

fattore di confidenza 1.00

DATI INERZIALI PROFILO : HEA 220



Area	64.46 [cm ²]	A.Traz	64.46 [cm ²] (L collegamento 0.0 [mm])
Jx	5419 [cm ⁴]	ix	9.2 [cm]
Wx	516057 [mm ³]	Zx	569471 [mm ³]
Jy	1955 [cm ⁴]	iy	5.5 [cm]
Wy	177701 [mm ³]	Zy	270711 [mm ³]
Jt	28 [cm ⁴]		
Cw	193266 [cm ⁶]		

Curva di instabilità piano 1-2 (x-x) b

Curva di instabilità piano 1-3 (y-y) c

Doppio T

B 220.0 [mm]

H 210.0 [mm]

tf 11.0 [mm]

tw 7.0 [mm]

r 18.0 [mm]

Classificazione generale della sezione:

Compressione : 1

Flessione Mx : 1

Flessione My : 1

Nelle verifiche a trazione $Nu, Rd = \beta A_n \sigma_{ft, k} / \gamma_2$ $\beta = 0.90$

VERIFICA DI RESISTENZA

Sezione in classe 1

WxEff 569471 [mm³]

Aw,y 20.79 [cm²]

Combinazione critica 2

Ascissa 2.500 [m]

Mx,D -75 [kNm] Mx,D/Mx,R=0.61

Vy,D 0 [kN] Vy,D/Vy,R=0.00

SD/SR 0.61 VERIFICATA

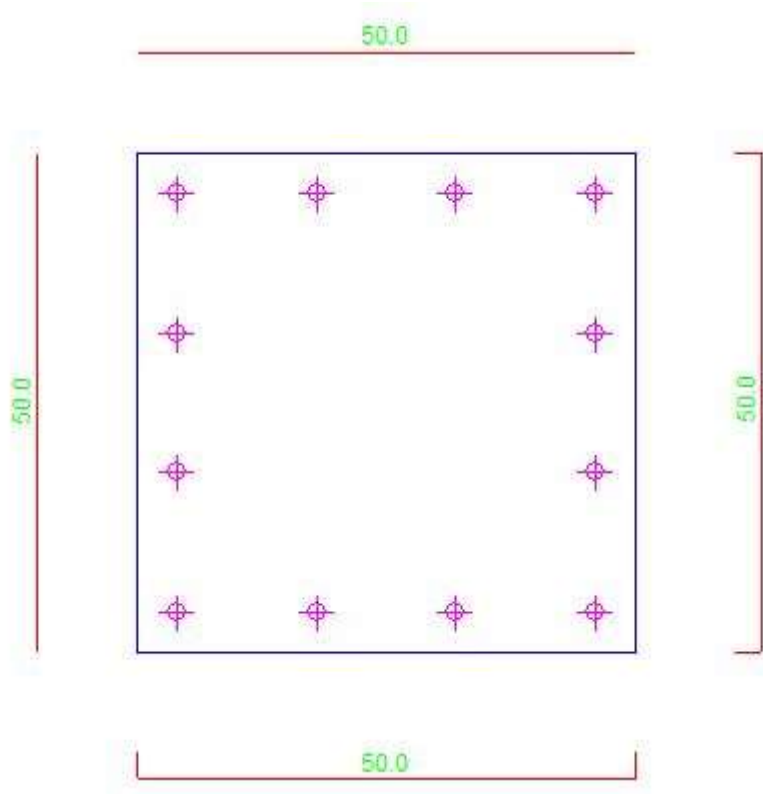
5.3.1 Ritti in c.a.

Si riporta la verifica delle sezioni d'estremità ipotizzando:

ClS C28/35

Ritto 50cm x 50cm

Armatura B 450 C, Armatura longitudinale $\phi 24$, staffe a 3 braccia (in entrambe le direzioni) $\phi 8$ passo 200mm



Verifica SLU a presso-flessione

Condizione di carico	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Sd/Sr	Xx [1/cm]	Xy [1/cm]	X [1/cm]	ϵ_{MIN} x 1000	d ϵ_{MIN} [cm]	ϵ_{MAX} x 1000	d ϵ_{MAX} [cm]	$\epsilon_{MIN}/\epsilon_{MAX}$
0001 Nodo 10	-141	-1	0	0.01	0	0	0	-2.64	88.9	-1.15	38.9	2.287
0001 Nodo 22	-82	3	0	0.01	0	0	0	-3.26	55.6	-0.33	5.5	10.012
0002 Nodo 10	-192	-1	0	0.02	0	0	0	-2.53	102.1	-1.29	52.1	1.96
0002 Nodo 22	-133	3	0	0.01	0	0	0	-2.98	65.2	-0.7	15.2	4.284
0003 Nodo 10	-105	-1	0	0.01	0	0	0	-2.64	88.9	-1.15	38.9	2.287
0003 Nodo 22	-61	2	0	0.01	0	0	0	-3.26	55.6	-0.33	5.5	10.012
0004 Nodo 10	-191	-152	70	0.3	0	0	0	-3.5	21.3	7.29	44.4	0.48
0004 Nodo 22	-147	131	0	0.23	0	0	0	-3.5	10.2	13.65	39.8	0.256
0005 Nodo 10	-191	-152	-70	0.3	0	0	0	-3.5	21.3	7.29	44.4	0.48

0005 Nodo 22	-147	131	0	0.23	0	0	0	-3.5	10.2	13.65	39.8	0.256
0006 Nodo 10	-19	150	70	0.35	0	0	0	-3.5	17.2	9.58	47.1	0.365
0006 Nodo 22	25	-126	0	0.29	0	0	0	-3.5	6.3	24.22	43.7	0.145
0007 Nodo 10	-19	150	-70	0.35	0	0	0	-3.5	17.2	9.58	47.1	0.365
0007 Nodo 22	25	-126	0	0.29	0	0	0	-3.5	6.3	24.22	43.7	0.145
0008 Nodo 10	-130	-46	233	0.47	0	0	0	-3.5	13.5	11.44	44	0.306
0008 Nodo 22	-87	41	0	0.06	0	0	0	-3.5	14.7	8.43	35.3	0.415
0009 Nodo 10	-79	44	233	0.49	0	0	0	-3.5	12.7	12.26	44.4	0.285
0009 Nodo 22	-35	-36	0	0.06	0	0	0	-3.5	9.4	15.2	40.6	0.23
0010 Nodo 10	-130	-46	-233	0.47	0	0	0	-3.5	13.5	11.44	44	0.306
0010 Nodo 22	-87	41	0	0.06	0	0	0	-3.5	14.7	8.43	35.3	0.415
0011 Nodo 10	-79	44	-233	0.49	0	0	0	-3.5	12.7	12.26	44.4	0.285
0011 Nodo 22	-35	-36	0	0.06	0	0	0	-3.5	9.4	15.2	40.6	0.23
0001 Nodo 9	-141	1	0	0.01	0	0	0	-2.64	88.9	-1.15	38.9	2.287
0001 Nodo 21	-82	-3	0	0.01	0	0	0	-3.26	55.6	-0.33	5.5	10.012
0002 Nodo 9	-192	1	0	0.02	0	0	0	-2.53	102.1	-1.29	52.1	1.96
0002 Nodo 21	-133	-3	0	0.01	0	0	0	-2.98	65.2	-0.7	15.2	4.284
0003 Nodo 9	-105	1	0	0.01	0	0	0	-2.64	88.9	-1.15	38.9	2.287
0003 Nodo 21	-61	-2	0	0.01	0	0	0	-3.26	55.6	-0.33	5.5	10.012
0004 Nodo 9	-19	-150	70	0.35	0	0	0	-3.5	17.2	9.58	47.1	0.365
0004 Nodo 21	25	126	0	0.29	0	0	0	-3.5	6.3	24.22	43.7	0.145
0005 Nodo 9	-19	-150	-70	0.35	0	0	0	-3.5	17.2	9.58	47.1	0.365
0005 Nodo 21	25	126	0	0.29	0	0	0	-3.5	6.3	24.22	43.7	0.145
0006 Nodo 9	-191	152	70	0.3	0	0	0	-3.5	21.3	7.29	44.4	0.48
0006 Nodo 21	-147	-131	0	0.23	0	0	0	-3.5	10.2	13.65	39.8	0.256
0007 Nodo 9	-191	152	-70	0.3	0	0	0	-3.5	21.3	7.29	44.4	0.48
0007 Nodo 21	-147	-131	0	0.23	0	0	0	-3.5	10.2	13.65	39.8	0.256
0008 Nodo 9	-79	-44	233	0.49	0	0	0	-3.5	12.7	12.26	44.4	0.285
0008 Nodo 21	-35	36	0	0.06	0	0	0	-3.5	9.4	15.2	40.6	0.23
0009 Nodo 9	-130	46	233	0.47	0	0	0	-3.5	13.5	11.44	44	0.306
0009 Nodo 21	-87	-41	0	0.06	0	0	0	-3.5	14.7	8.43	35.3	0.415
0010 Nodo 9	-79	-44	-233	0.49	0	0	0	-3.5	12.7	12.26	44.4	0.285
0010 Nodo 21	-35	36	0	0.06	0	0	0	-3.5	9.4	15.2	40.6	0.23
0011 Nodo 9	-130	46	-233	0.47	0	0	0	-3.5	13.5	11.44	44	0.306
0011 Nodo 21	-87	-41	0	0.06	0	0	0	-3.5	14.7	8.43	35.3	0.415

Max Sd/Sr = 0.49 < 1 → verifica soddisfatta

Verifica SLU a taglio

	Larghezza	CLS - Resistenza
Altezza	anima	caratteristica a
utile trave	trave	compressione

d [mm]	bw [mm]	f_{ck} [MPa]	28
450	500	γ_c	1.5
		α_{cc}	0.85
		f_{cd} [MPa]	15.87
		EC2/NTC (*)	NTC

CON
STAFFE

Nr. braccia	Diametro barra	Area barra	Passo staffe	Acciaio	cot(Theta)	Alfa	cot(Alfa)	CLS	(*)
nb	Db [mm]	Ab [mm ²]	s [mm]	fyd [N/mm ²]	≥ 1 e ≤ 2.5	[deg]		α_{cw}	v
3	8	50	200	391	1.00	90.00	0.00	1.00	0.5

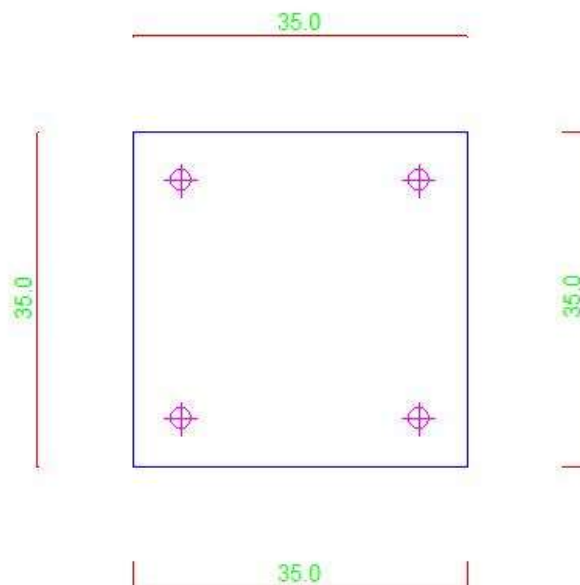
$V_{rd}(\text{acciaio}) = 119 \text{ kN}$

$V_{rd}(\text{cls}) = 1607 \text{ kN}$

$V_{rd} = 119 \text{ kN} > V_{sd} = 40 \text{ kN} \rightarrow$ verifica soddisfatta

Ritto 35cm x 35cm

Armatura B 450 C, Armatura longitudinale $\phi 24$, staffe a 2 braccia (in entrambe le direzioni) $\phi 8$ passo 200mm



Verifica SLU a presso-flessione

Condizione di carico	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Sd/Sr	Xx [1/cm]	Xy [1/cm]	X [1/cm]	EMIN x 1000	d EMIN [cm]	EMAX x 1000	d EMAX [cm]	EMIN/EMAX
0001 Nodo 9	-107	2	0	0.03	0	0	0	-3.13	41.7	-0.5	6.7	6.263
0001 Nodo 21	-82	-4	0	0.02	0	0	0	-3.5	31.5	0.39	3.5	9.066
0002 Nodo 9	-158	2	0	0.04	0	0	0	-2.92	47.5	-0.77	12.5	3.799
0002 Nodo 21	-133	-4	0	0.04	0	0	0	-3.44	35.9	-0.08	0.9	41.735
0003 Nodo 9	-80	1	0	0.02	0	0	0	-3.13	41.7	-0.5	6.7	6.263
0003 Nodo 21	-61	-3	0	0.02	0	0	0	-3.5	31.5	0.39	3.5	9.066
0004 Nodo 9	-51	-57	30	0.52	0	0	0	-3.5	10	11.6	33.2	0.302
0004 Nodo 21	-32	40	0	0.35	0	0	0	-3.5	4.9	21.49	30.1	0.163
0005 Nodo 9	-51	-57	-30	0.52	0	0	0	-3.5	10	11.6	33.2	0.302
0005 Nodo 21	-32	40	0	0.35	0	0	0	-3.5	4.9	21.49	30.1	0.163
0006 Nodo 9	-109	60	30	0.48	0	0	0	-3.5	11.6	9.83	32.6	0.356
0006 Nodo 21	-90	-46	0	0.34	0	0	0	-3.5	5.7	17.92	29.3	0.195
0007 Nodo 9	-109	60	-30	0.48	0	0	0	-3.5	11.6	9.83	32.6	0.356
0007 Nodo 21	-90	-46	0	0.34	0	0	0	-3.5	5.7	17.92	29.3	0.195
0008 Nodo 9	-71	-16	102	0.91	0	0	0	-3.5	6	18.15	31.1	0.193
0008 Nodo 21	-52	10	0	0.04	0	0	0	-3.5	13.5	5.56	21.5	0.629
0009 Nodo 9	-88	19	102	0.89	0	0	0	-3.5	6.4	17.06	31.2	0.205
0009 Nodo 21	-69	-16	0	0.08	0	0	0	-3.5	10	8.74	25	0.4
0010 Nodo 9	-71	-16	-102	0.91	0	0	0	-3.5	6	18.15	31.1	0.193
0010 Nodo 21	-52	10	0	0.04	0	0	0	-3.5	13.5	5.56	21.5	0.629
0011 Nodo 9	-88	19	-102	0.89	0	0	0	-3.5	6.4	17.06	31.2	0.205
0011 Nodo 21	-69	-16	0	0.08	0	0	0	-3.5	10	8.74	25	0.4
0001 Nodo 10	-107	-2	0	0.03	0	0	0	-3.13	41.7	-0.5	6.7	6.263
0001 Nodo 22	-82	4	0	0.02	0	0	0	-3.5	31.5	0.39	3.5	9.066
0002 Nodo 10	-158	-2	0	0.04	0	0	0	-2.92	47.5	-0.77	12.5	3.799
0002 Nodo 22	-133	4	0	0.04	0	0	0	-3.44	35.9	-0.08	0.9	41.735
0003 Nodo 10	-80	-1	0	0.02	0	0	0	-3.13	41.7	-0.5	6.7	6.263
0003 Nodo 22	-61	3	0	0.02	0	0	0	-3.5	31.5	0.39	3.5	9.066
0004 Nodo 10	-109	-60	30	0.48	0	0	0	-3.5	11.6	9.83	32.6	0.356
0004 Nodo 22	-90	46	0	0.34	0	0	0	-3.5	5.7	17.92	29.3	0.195
0005 Nodo 10	-109	-60	-30	0.48	0	0	0	-3.5	11.6	9.83	32.6	0.356
0005 Nodo 22	-90	46	0	0.34	0	0	0	-3.5	5.7	17.92	29.3	0.195
0006 Nodo 10	-51	57	30	0.52	0	0	0	-3.5	10	11.6	33.2	0.302
0006 Nodo 22	-32	-40	0	0.35	0	0	0	-3.5	4.9	21.49	30.1	0.163
0007 Nodo 10	-51	57	-30	0.52	0	0	0	-3.5	10	11.6	33.2	0.302
0007 Nodo 22	-32	-40	0	0.35	0	0	0	-3.5	4.9	21.49	30.1	0.163
0008 Nodo 10	-88	-19	102	0.89	0	0	0	-3.5	6.4	17.06	31.2	0.205

0008 Nodo 22	-69	16	0	0.08	0	0	0	-3.5	10	8.74	25	0.4
0009 Nodo 10	-71	16	102	0.91	0	0	0	-3.5	6	18.15	31.1	0.193
0009 Nodo 22	-52	-10	0	0.04	0	0	0	-3.5	13.5	5.56	21.5	0.629
0010 Nodo 10	-88	-19	-102	0.89	0	0	0	-3.5	6.4	17.06	31.2	0.205
0010 Nodo 22	-69	16	0	0.08	0	0	0	-3.5	10	8.74	25	0.4
0011 Nodo 10	-71	16	-102	0.91	0	0	0	-3.5	6	18.15	31.1	0.193
0011 Nodo 22	-52	-10	0	0.04	0	0	0	-3.5	13.5	5.56	21.5	0.629

Verifica SLU a taglio

Altezza utile trave d [mm]	Larghezza anima trave bw [mm]	CLS - Resistenza caratteristica a compressione	
450	500	f_{ck} [MPa]	28
		γ_c	1.5
		α_{cc}	0.85
		f_{cd} [MPa]	15.87
		EC2/NTC (*)	NTC

CON STAFFE

Nr. braccia nb	Diametro barra Db [mm]	Area barra Ab [mm ²]	Passo staffe s [mm]	Acciaio fyd [N/mm ²]	cot(Theta) ≥ 1 e ≤ 2.5	Alfa [deg]	cot(Alfa)	CLS α_{cw}	(*) v
2	8	50	200	391	1.00	90.00	0.00	1.00	0.5

Vrd(acciaio) = 53 kN

Vrd(cls) = 375 kN

Vrd = 53 kN > Vsd = 35 kN → verifica soddisfatta

5.4 Verifica di resistenza solaio

Solaio tipo Predalle di altezza complessiva 30cm con alleggerimenti in polistirolo, spessore lastra inferiore 5cm, soletta superiore 6cm, larghezza nervature 40cm/120cm.

Luce L = 5.0m

ClS C32/40

Armatura B450C – Intradosso: 1 ϕ 12/nervatura, estradosso:rete elettrosaldata ϕ 6 passo 100x100mm

Altezza utile d = 250 mm – 30 mm = 220 mm

Carichi:

Pavimentazione: 0.70 kN/m²

Solaio: 5.40 kN/m²

Folla: 5.00 kN/m²

$$Q_{sd} = 1.35 \times (0.70 + 5.40 + 5.00) = 15.00 \text{ kN/m}^2$$

Sollecitazioni:

$$V_{sd} = \frac{1}{2} Q_{sd} L = 22.5 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = \frac{1}{8} Q_{sd} L^2 = 16.9 \text{ kNm/m}$$

Verifica a flessione:

$$M_{rd} = 0.9 d f_{yd} A_f = 0.9 \times 220 \times 450 / 1.15 \times (3 \times 113) / 1.2 = 21.9 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$$

Verifica a taglio

CLS - Resistenza caratteristica a compressione

f_{ck} [MPa]

32

Coefficiente di sicurezza

γ_c

1.5

α_{cc}

0.85

f_{cd} [MPa]

18.13

Altezza utile

d [mm]

220

Larghezza nervatura

bw [mm]

400

Rapporto geometrico armatura tesa estesa per (lbd+d)

δ (max 2%)

0.386%

Tensione media di compressione

σ_{cp} [N/mm²]

0

$$k = 1 + (200 / d)^{0.5} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{(3/2)} f_{ck}^{0.5}$$

$$\tau_{Rd} = 1/\gamma_c Crd,c k (100 \rho f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}$$

Tensione tangenziale resistente

Taglio resistente

Interasse nervatura

Taglio resistente distribuito

k 1.95

v_min [N/mm²] 0.541

k1 0.150

Crd,c 0.180

τRd [N/mm²] 0.542

τRd [N/mm²] 0.542

VRd [kN] 47.67

i [m] **1.2**

VRd [kN/m] 39.72

Vrd = 39.72 kN/m > Vsd → Verifica soddisfatta

5.4.1 Verifiche traliccio lastra in fase di getto

Carichi:

P.p. = 5.40 kN/m²

Mezzi d'opera: 1.00 kN/m²

Carico totale: Qk = 6.40 kN/m² assumendo γ = 1.5 → Qsd = 9.60 kN/m²

Calcolo in fase di autoportanza lastre tipo Predalles / "Predalle" plank un-propped temporary phase check

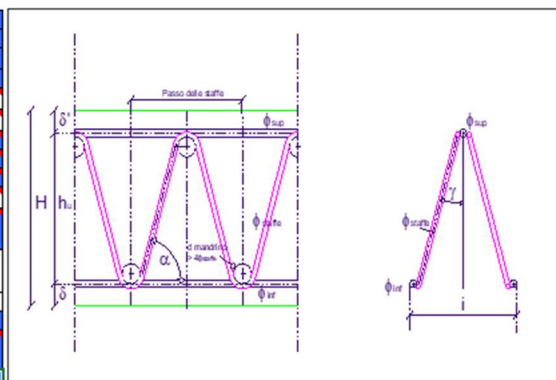
Analisi dei carichi / Load analysis:

Larghezza Pannello / Plank width	B	1.20 m
Peso proprio impalcato / Total dead load:	G _k	5.40 kN/m ²
Sovraccarichi mezzi d'opera / Temporary load:	Q _k	1.00 kN/m ²
Totale carichi su impalcato / Total load:		

Valore caratteristico / Characteristic value	Coeff. sic. / Load factor γ _f	Valore di progetto / Design value
6.48 kN/m	1.50	9.72 kN/m
1.20 kN/m	1.50	1.80 kN/m
7.68 kN/m		11.52 kN/m

Dati Geometrici / Geometric data

Luce di calcolo / Span	L	3.00 m
N° tralici / No. of frameworks	n	3
Diametro barra d'estradosso / Top bar diameter	φ _{sup}	14 mm
Diametro barra d'intradosso / Bottom bar diameter	φ _{inf}	10 mm
Area ferri sup. / Total top steel area	A' _{tot}	462 mm ²
Area ferri inf. / Total bottom steel area	A _{tot}	471 mm ²
Copriferro sup. / Top cover	δ'	7.0 cm
Copriferro inf. / Bottom cover	δ	2.5 cm
Altezza totale sezione / Total height	H	30.0 cm
Altezza di calcolo traliccio / Framework height	h _{tr} = H - (δ' + δ)	20.5 cm
Coeff. di riduzione barra superiore / Top bar reduction factor for buckling length	β	1
Lungh. lib. infles. Barra superiore / Top chord buckling length	L ₀ = β × L'	20.0 cm
Raggio d'inerzia / Radius of gyration	ρ	0.35 cm
Passo delle staffe / Stirrup pitch	L'	20.0 cm
Distanza tra i correnti inf. Traliccio / Transversal distance between bottom bars	i	10.0 cm
Diametro staffa / Stirrup diameter	φ _{st}	8 mm



Inclinazione trasversale staffa / Stirrup transversal inclination	γ	8.33 deg	Acciaio / Steel	B450C	
Inclinazione longitudinale staffa / Stirrup longitudinal inclination	α	70.13 deg	Valore carat. snervamento / Characteristic yielding strength	f_{yk}	450 N/mm ²
Lunghezza staffa / Stirrup length	L_{st}	23.1 cm	$\epsilon = (235 / f_{yk})^{0.5}$	ϵ	0.723
Coeff. di riduzione staffa / Stirrup reduction factor	β_{st}	0.90	Coeff. sic. / Material safe factor	γ_m	1.15
Lungh. lib. infles. staffa / Stirrup buckling length	$L_{st, o} = \beta_{st} \times L_{st}$	20.8 cm	Valore di progetto snervamento / Design yielding strength	f_{yd}	391 N/mm ²
Raggio d'inerzia staffa / Stirrup radius of gyration	ρ_{st}	0.20 cm			

Sollecitazioni / Strain:

		Valore caratteristico / Characteristic value	Valore di progetto / Design value	
Momento massimo / Max bending moment	M_{max}	8.64 kNm	12.96 kNm	
Taglio massimo / Max shear	V_{max}	11.52 kN	17.28 kN	
Sforzo assiale tot. barre superiori / Top bars total axial force	$N' = M_{max} / h_{st}$	42.15 kN	63.22 kN	
Sforzo assiale tot. barra inferiore / Bottom bars total axial force	$N = 0.5 M_{max} / h_{st}$	21.07 kN	31.61 kN	
Sforzo assiale staffa / Stirrup bar axial force	$N_{st} (*)$	2.06 kN	3.09 kN	$(*) N_{st} = V_{max} / (2 \sin(\alpha) \cos(\gamma)) / n$

Verifica a compressione correnti superiori / Top bar compression check:

Snellezza / Slenderness	$\lambda = L_{st, o} / \rho$	57.1	From EN1993-1-1, assuming buckling curve "c"	
Snellezza adimensionale / Non-dimensional slenderness	$\lambda' = \lambda / 93.9 / \epsilon$	0.842	imperfection factor α	0.49
			ϕ factor	1.0119
Coeff. di riduzione per instabilità / Buckling reduction factor	γ	0.636	$N' = 63.22$ kN	Verifica soddisfatta / Verified
Design buckling resistance axial force	$N'_{Rd} = \gamma A'_{tot} f_{yd}$	114.89 kN		Ratio S/R: 0.55

Verifica a trazione correnti inferiori / Bottom bar tension check:

Sforzo assiale resistente di progetto / Design resistance tension force	$N_{Rd} = A_{tot} f_{yd}$	92.20 kN	$N = 31.61$ kN	Verifica soddisfatta / Verified	Ratio S/R: 0.34
---	---------------------------	----------	----------------	---------------------------------	-----------------

Verifica a compressione staffa / Stirrup bar compression check:

Snellezza / Slenderness	$\lambda_{st} = L_{st, o} / \rho_{st}$	103.9	From EN1993-1-1, assuming buckling curve "c"	
Snellezza adimensionale / Non-dimensional slenderness	$\lambda'_{st} = \lambda_{st} / 93.9 / \epsilon$	1.531	imperfection factor α	0.49
			ϕ factor	1.9987
Coeff. di riduzione per instabilità / Buckling reduction factor	γ	0.305	$N_{st} = 3.09$ kN	Verifica soddisfatta / Verified
Design buckling resistance axial force	$N_{st, Rd} = \gamma A_{st} f_{yd}$	5.99 kN		Ratio S/R: 0.52

Controllo deformabilità / Deformability check:

Distanza baricentro barre da filo inf. / Barycenter distance from bottom bars	Y_G	10.1 cm	ratio L / f	<table border="1"> <tr> <td>Top bars weight</td> <td>3.0 kg/m²</td> </tr> <tr> <td>Bottom bars weight</td> <td>3.1 kg/m²</td> </tr> <tr> <td>Stirrup bars weight</td> <td>3.6 kg/m²</td> </tr> <tr> <td>Total bars weight</td> <td>9.7 kg/m²</td> </tr> </table>	Top bars weight	3.0 kg/m ²	Bottom bars weight	3.1 kg/m ²	Stirrup bars weight	3.6 kg/m ²	Total bars weight	9.7 kg/m²
Top bars weight	3.0 kg/m ²											
Bottom bars weight	3.1 kg/m ²											
Stirrup bars weight	3.6 kg/m ²											
Total bars weight	9.7 kg/m²											
Momento d'inerzia traliccio / Framework moment of inertia	J_G	933.5 cm ⁴										
Freccia sotto i carichi permanenti / Sag under dead load	f_{G}	0.3 cm	861									
Freccia sotto i carichi totali / Sag under total load	f_{G+Q}	0.4 cm	726									

Passerella ciclopedonale fiume Reno – Sasso Marconi

Progetto Definitivo

Relazione tecnica delle strutture metalliche

STR_REL_6_4

ALLEGATO Z

Software Enexsys WinStrand

- Estremi della licenza software

- Programmi di calcolo strutturale: descrizione delle specifiche generali, librerie di elementi finiti e capacità di modellazione delle azioni, materiali e schematizzazione della struttura e dei vincoli, convenzioni

SOMMARIO

1	ESTREMI DELLA LICENZA DEL DEL SOFTWARE	4
2	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE	5
2.1	Nodi	7
2.2	Elementi tipo biella (truss).....	8
2.3	Elementi tipo trave	9
2.4	Elementi tipo trave su suolo alla Winkler	10
2.5	Elementi tipo pilastro.....	11
2.6	Elementi tipo plinto su suolo alla Winkler.....	12
2.7	Elementi setto	13
2.8	Elementi triangolari	14
2.9	Elementi a 4 nodi	15
2.10	Elementi isoparametrici a 8 nodi.....	16
2.11	Solai	16
2.12	Aree di carico	17
2.13	Condizioni e combinazioni di carico.....	18
3	TEST DI VALIDAZIONE DEL SOFTWARE	19
4	BENCHMARK.....	20
4.1	Test 001 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave appoggiata.....	21
4.2	Test 002 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave a mensola.....	23
4.3	Test 003 - Frequenza naturale di vibrazione di un oscillatore semplice.....	25
4.4	Test 004 - Trave piana con estremi incastrati	27
4.5	Test 005 - Sistema piano di aste sospese	29
4.6	Test 006 - Stato tensionale di una trave inflessa	31
4.7	Test 007 - Stato tensionale di una trave inflessa	33
4.8	Test 008 - Sistema piano di aste sospese	35
4.9	Test 009 - Trave a mensola soggetta a momento torcente concentrato	37
4.10	Test 010 - Telaio piano.....	39
4.11	Test 011 - Trave reticolare piana.....	41
4.12	Test 012 - Controllo dell'analisi condotta considerando il comportamento monolatero degli elementi biella - trave 43	
4.13	Test 013 - Aste piane e carico termico	46



Città Metropolitana di Bologna

“Ciclovia del Sole: tratto 3 attraversamento dei centri abitati di Crevalcore, San Giovanni in Persiceto, Sala Bolognese - tratto 4: Casalecchio- Marzabotto”

PROGETTO DEFINITIVO - Relazione tecnica delle strutture metalliche Allegato 1 - Passerella ciclopedonale Fiume Reno - Sasso Marconi/Marzabotto

4.14	Test 014 - Flessione in una piastra circolare	48
------	---	----

1 ESTREMI DELLA LICENZA DEL DEL SOFTWARE

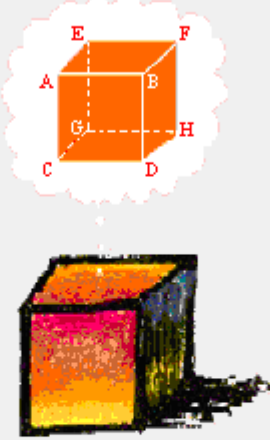
En.Ex.Sys. - WinStrand InForma

ENEXSYS.
Engineering Expert Systems
WinStrand - InForma
copyright En.Ex.Sys. S.r.l.
Via Tizzano 46/2 Casalecchio di Reno (Bo) Italia
Tel +39 051 576505 Fax +39 051 576006
www.enexsys.com

Sistema Operativo
Microsoft Windows NT
6.1 (Build: 7600)
Memoria Disponibile: 1023 MB
Spazio Libero Disco: 3016 MB Liberi su C:

Questo programma é licenziato a
Utente: **Ing. Pinardi Stefano**
Numero di serie: **0007STEFAN**
Versione: **2023 - 32000**
Scadenza contratto InForma: **31/03/2024**

OK



2 DESCRIZIONE DEL SOFTWARE

En.Ex.Sys. WinStrand

Structural Analysis & Design

Ditta produttrice:

En.Ex.Sys. s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)

Sigla:

WinStrand

Piattaforma software:

Microsoft Windows XP Home, Microsoft Windows XP Home Professional

Documentazione in uso:

Manuale teorico - Manuale d'uso

Campo di applicazione:

Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Elementi finiti implementati

Truss.

Beam (Modellazione di Travi e Pilastrini).

Travi su suolo elastico alla Winckler.

Plinti su suolo elastico alla Winckler.

Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio.

Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti.

Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra).

Schemi di Carico

Carichi nodali concentrati.

Carichi applicati direttamente agli elementi.

Carichi Superficiali.

Tipo di Risoluzione

Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.

Fattorizzazione LDLT.

Analisi Statica:

modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.

ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).

Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):

Via statica equivalente.

Modale con il metodo dello spettro di risposta.

2.1 Nodi

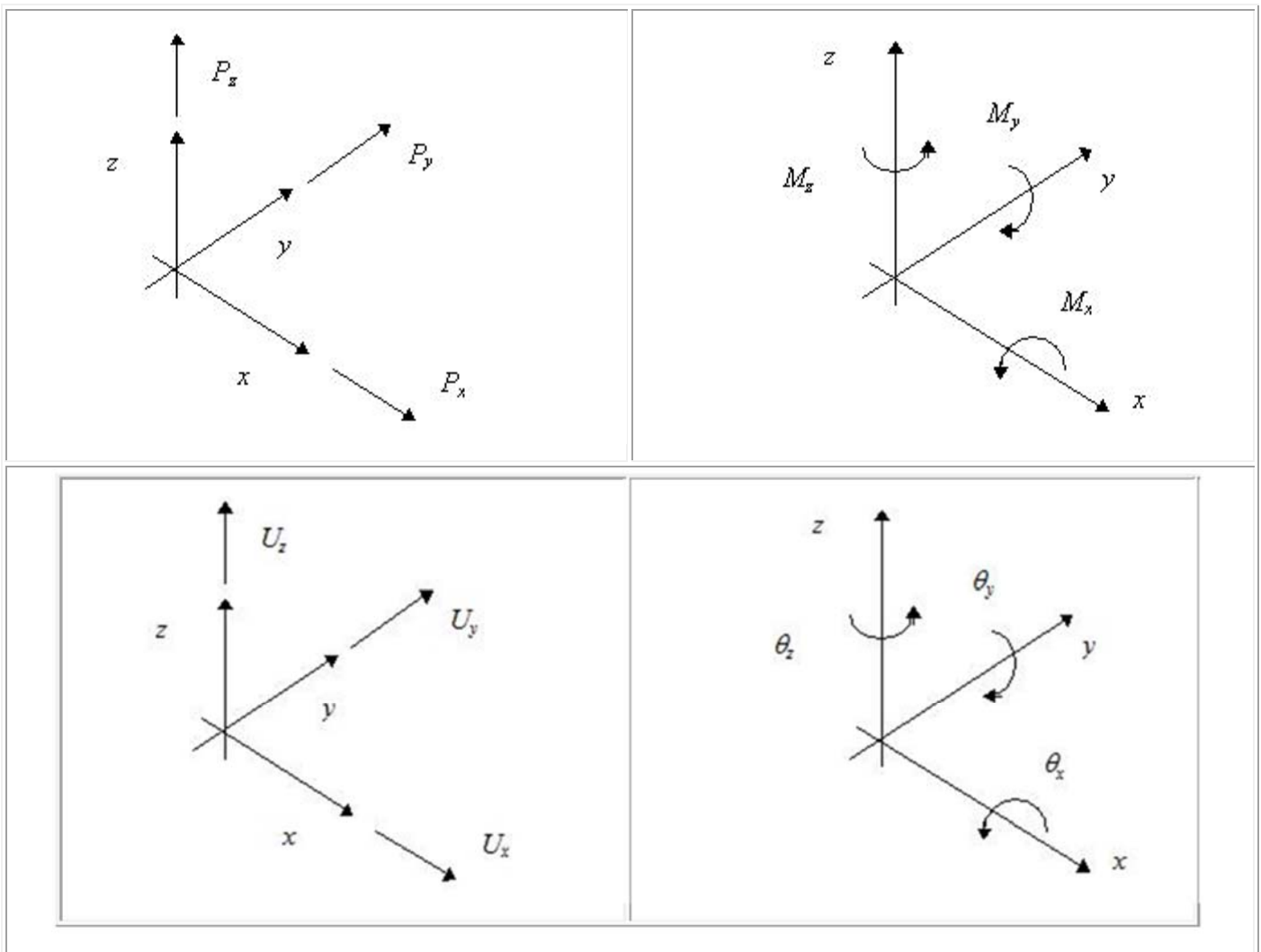
I nodi vengono numerati, con riferimento a una sezione orizzontale, da sinistra a destra, dal basso verso l'alto e per quote crescenti.

L'impalcato di appartenenza di un nodo è definito, in generale, dalla prima delle tre cifre che ne definiscono il numero, possono tuttavia presentarsi casi in cui si hanno più di 100 nodi per solaio nel qual caso il solaio di appartenenza è specificato dall'ultimo valore stampato nella riga dei dati relativi al nodo.

La maschera dei vincoli è costituita dai valori 0 e 1. Il valore 1 indica che per il nodo in riferimento il grado di libertà correlativo è soppresso mentre il valore 0 indica che è libero.

Nel caso di edifici civili multipiano l'asse z generale coincide con l'asse verticale rivolto verso l'alto.

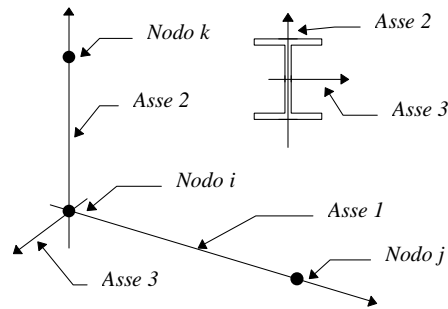
La terna di riferimento generale è destrorsa per cui si hanno i seguenti segni positivi per i carichi o per le coppie direttamente applicati ai nodi e per le associate componenti di spostamento:



2.2 Elementi tipo biella (truss)

Gli elementi tipo biella sono definiti da:

- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna riferimento locale dell'elemento;



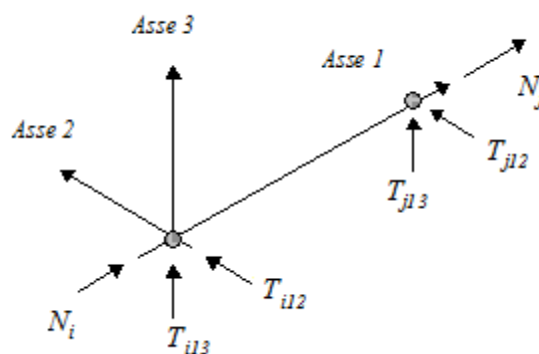
- il valore di S_0 ovvero l'azione assiale di pretensione cui si suppone soggetto l'elemento;
- il tipo di materiale di cui è costituito l'elemento;
- il tipo di sezione che ne definisce le caratteristiche inerziali;
- la lunghezza.

Va rilevato che:

- il valore di S_0 interviene (se diverso da zero) esclusivamente nella definizione della matrice di rigidità dell'elemento (secondo la formulazione della matrice di rigidità geometrica K_g) e non fornisce alcun contributo all'equilibrio globale dei nodi terminali dell'elemento;
- il correlativo carico può, a discrezione dell'operatore, intervenire nell'equilibrio strutturale secondo i coefficienti di interazione specificati nelle combinazioni di carico.

Le sollecitazioni negli elementi biella sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento.

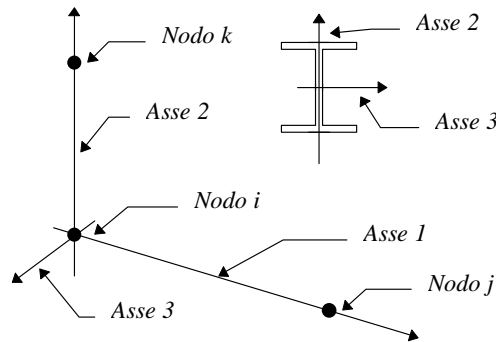
Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni così diretti:



2.3 Elementi tipo trave

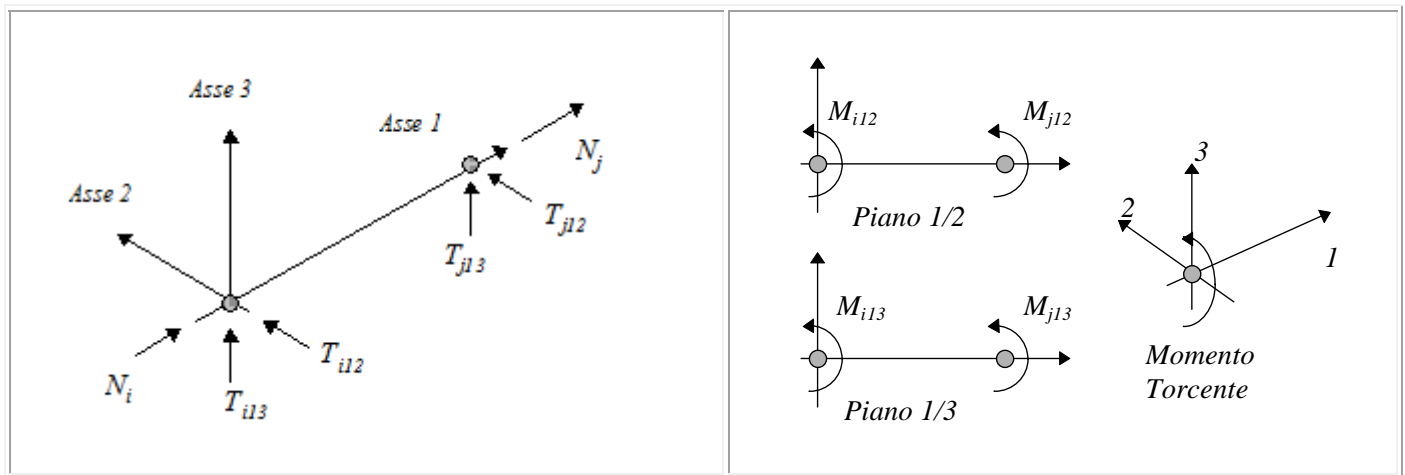
Gli elementi tipo trave sono definiti da:

- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna riferimento locale dell'elemento.



Gli elementi tipo trave possono avere valori di efficacia dei vincoli alle estremità dell'elemento variabili fra 0 e 100%, nei due piani 1-2 e 1-3 dell'elemento, dando quindi la possibilità di considerare aste non perfettamente incastrate.

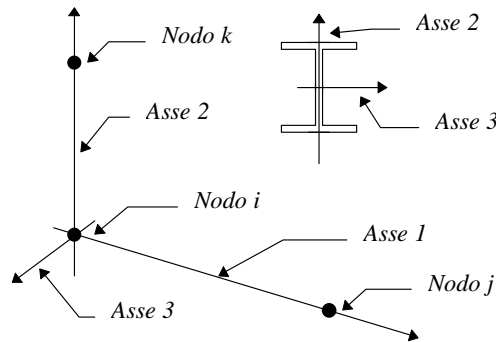
Le sollecitazioni nelle travi sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento e si riferiscono all'asta. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni così diretti:



2.4 Elementi tipo trave su suolo alla Winkler

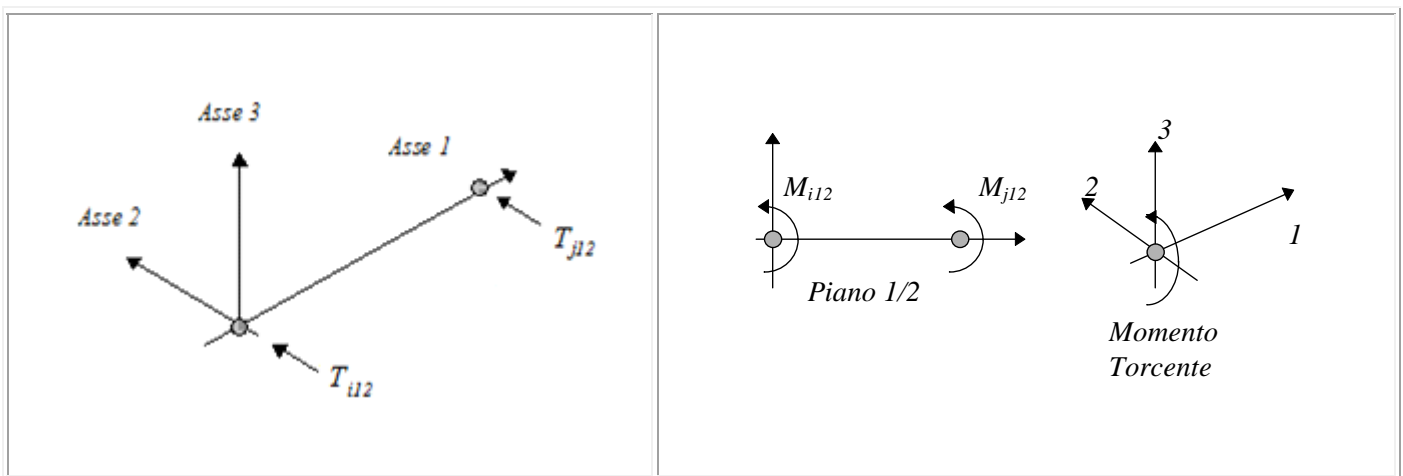
Ogni elemento tipo trave su suolo alla Winkler viene identificato da:

- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna di riferimento locale dell'elemento.



La trave si intende vincolata ad un sottospazio elastico a comportamento bilatero.

Le sollecitazioni nelle travi di fondazione sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni come in figura:

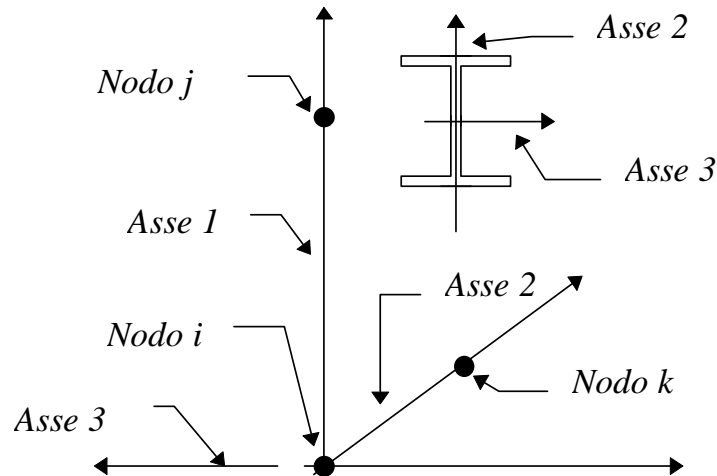


Le pressioni sul terreno sono da intendersi positive se concordi all'asse z globale (stato di compressione del terreno).

2.5 Elementi tipo pilastro

Gli elementi tipo pilastro sono definiti da:

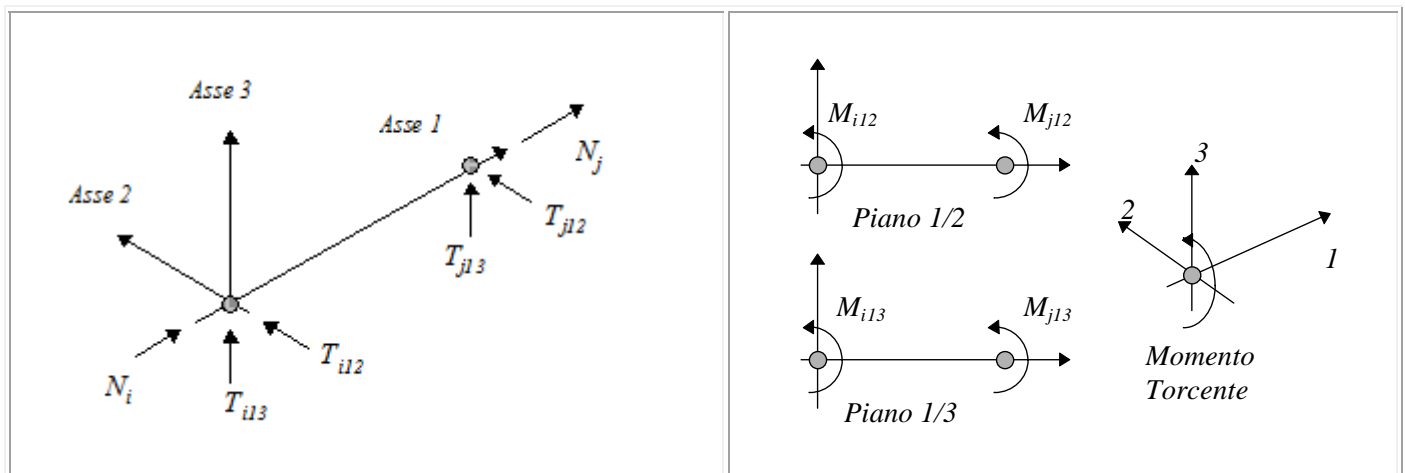
- nodo iniziale i ;
- nodo finale j ;
- nodo k che definisce l'orientamento nello spazio della terna di riferimento locale dell'elemento.



Gli elementi tipo pilastro possono avere valori di efficacia dei vincoli alle estremità dell'elemento variabili fra 0 e 100%, nei due piani 1-2 e 1-3 dell'elemento, dando quindi la possibilità di considerare aste non perfettamente incastrate.

In generale, se non diversamente disposto, l'asse 2 coincide, per i pilastri, con l'asse y globale e pertanto la disposizione della sezione coincide con quella che si avrebbe in una vista in pianta.

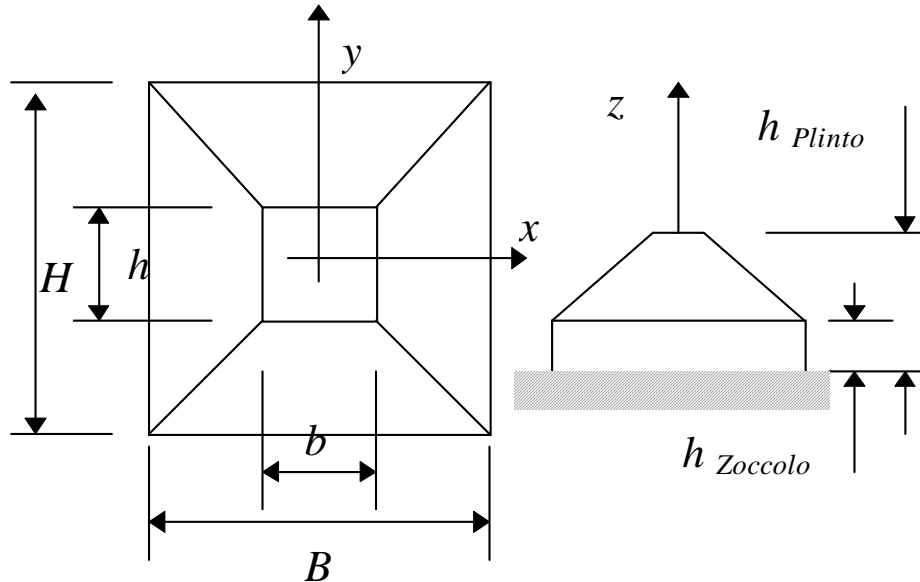
Le sollecitazioni nei pilastri sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento, e si riferiscono all'asta. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni così diretti:



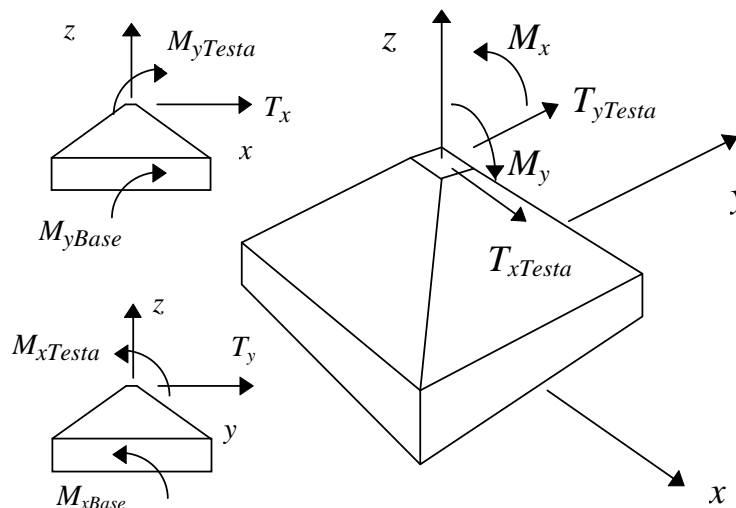
2.6 Elementi tipo plinto su suolo alla Winkler

Il plinto viene identificato con il numero del nodo a cui fa capo.

L'elemento, con riferimento al piano x-y, risulta essere così disposto:

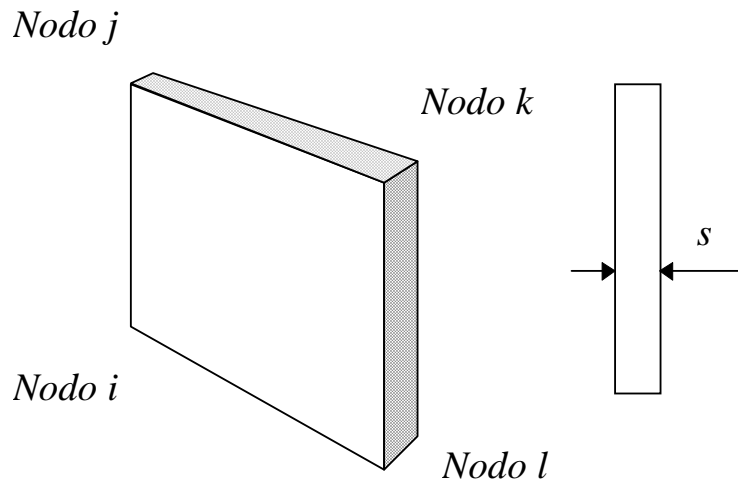


Le sollecitazioni nei plinti sono da intendersi nel sistema di riferimento locale dell'elemento. Per quanto concerne i segni positivi assunti per le varie componenti di sollecitazione si assumono come positivi i versi e le sollecitazioni così diretti:

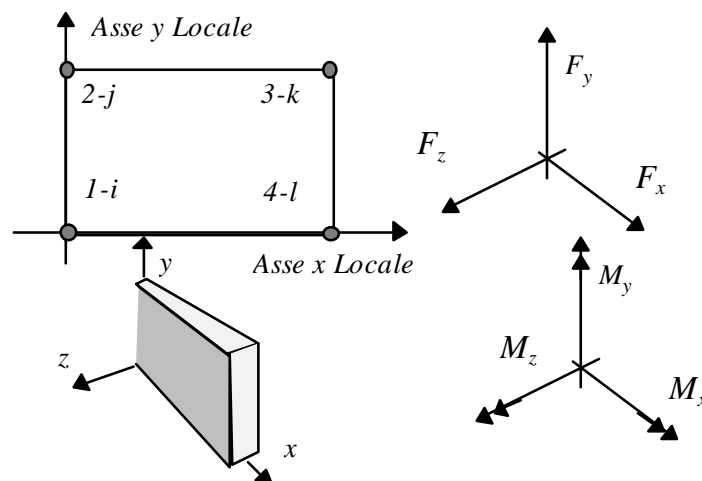


2.7 Elementi setto

L'elemento setto viene identificato mediante i quattro nodi (i, j, k, l) di bordo.



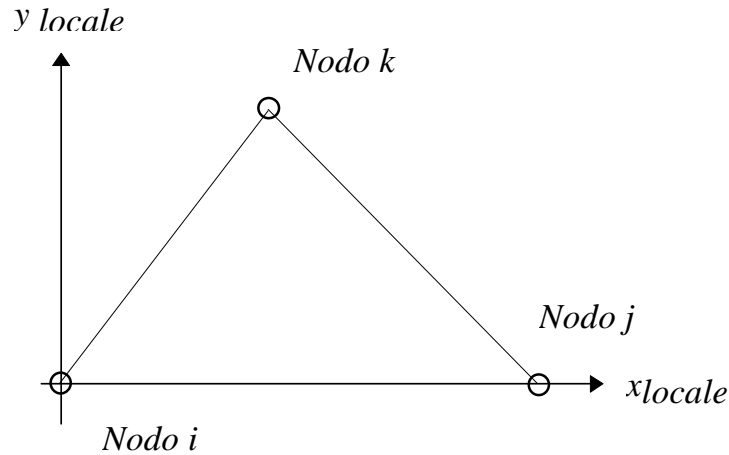
L'elemento parete viene individuato tramite il numero dei due nodi a numerazione più bassa cui fa capo l'elemento. La numerazione dei nodi e le convenzioni sulle sollecitazioni agenti nel setto sono le seguenti:



2.8 Elementi triangolari

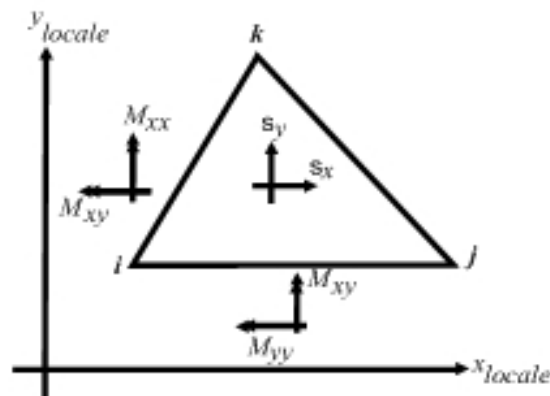
L'elemento triangolare è individuato tramite il numero dei nodi di vertice dello stesso.

Gli assi del sistema di riferimento locale risultano così disposti:



- L'asse x_{locale} ha direzione parallela alla retta congiungente i nodi i e j , è passante per i medesimi nodi ed ha verso positivo da i a j .
- L'asse y_{locale} è ortogonale all'asse x_{locale} , passa per il nodo i e verso positivo dalla parte del nodo k ;
- L'asse z_{locale} è ottenuto per prodotto vettoriale fra x_{locale} e y_{locale} .

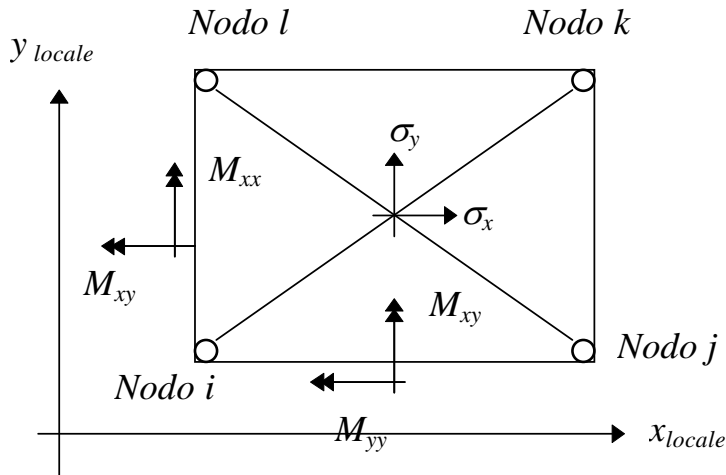
Le sollecitazioni indotte negli elementi triangolari come tensioni, momenti e tagli medi sono valutati nel centro dell'elemento.



2.9 Elementi a 4 nodi

L'elemento a 4 nodi è individuato tramite il numero dei nodi di vertice dello stesso.

Gli assi del sistema di riferimento locale risultano così disposti:



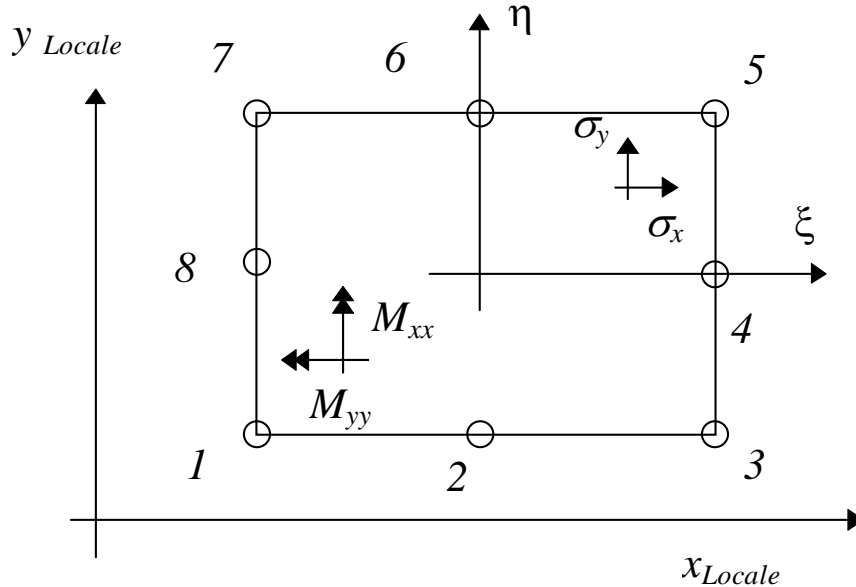
Il sistema di riferimento locale dell'elemento risulta essere così disposto:

- L'asse x locale sulla congiungente i nodi i e j da i verso j ;
- L'asse y locale sulla congiungente i nodi i e l da i verso l ;
- L'asse z locale è ottenuto per prodotto vettoriale fra x_{locale} e y_{locale} ;
- Le tensioni medie nell'elemento (σ_x , σ_y , τ_{xy}) e i momenti medi (M_x , M_y , M_{xy}) sono anch'essi da intendersi diretti lungo le direzioni sopra citate.

2.10 Elementi isoparametrici a 8 nodi

L'elemento a 8 nodi è individuato tramite il numero dei nodi di vertice e dei nodi medi dello stesso.

Le sollecitazioni presenti negli elementi finiti isoparametrici a 8 nodi sono valutate in 4 punti all'interno di ogni elemento. In particolare i 4 punti in cui vengono fornite le sollecitazioni corrispondono a 4 punti di GAUSS (vedi R.D. Cook - Concepts and Applications of Finite Element Analysis, New York, Wiley, 1981).



Il sistema di riferimento locale dell'elemento è così disposto

- L'asse x_{locale} dell'elemento è disposto lungo la congiungente i nodi 1 e 3;
- L'asse y_{locale} dell'elemento è disposto lungo la congiungente i nodi 1 e 7;
- L'asse z_{locale} è ottenuto mediante prodotto vettoriale fra gli assi x_{locale} e y_{locale} .

Le sollecitazioni sono da intendersi nel riferimento locale dell'elemento sopra descritto.

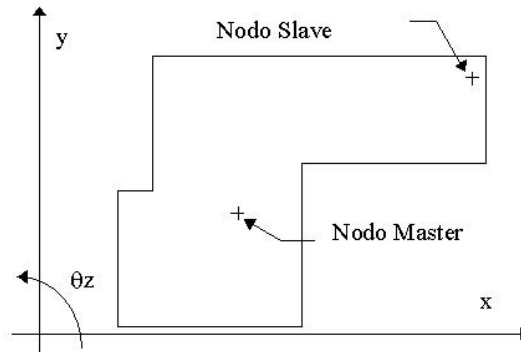
2.11 Solai

La dizione solai indica esclusivamente nodi della struttura legati da relazione cinematica (ipotesi di impalcato infinitamente rigido).

Seguendo tale ipotesi di calcolo, le componenti di spostamento del singolo nodo di impalcato vengono in parte riferite a quelle di un nodo master, solitamente coincidente con il centro di massa dell'impalcato. In particolare le componenti di spostamento nodale sono così definite:

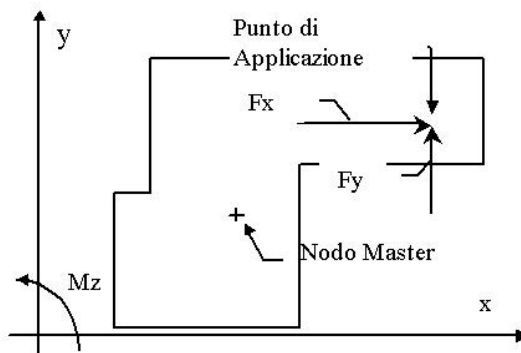
Componente di spostamento	espressa da
U_x	$U_{xMaster} - \theta_{zMaster} \times (Y_{Master} - Y_{Nodo})$
U_y	$U_{yMaster} + \theta_{zMaster} \times (X_{Master} - X_{Nodo})$
U_z	U_{zNodo}

θ_x	θ_{xNodo}
θ_y	θ_{yNodo}
θ_z	$\theta_{zMaster}$



Seguendo l'ipotesi di piano infinitamente rigido le azioni agenti nel piano del solaio vengono trasformate dal codice di calcolo in azioni agenti nel cosiddetto **nodo master** secondo le trasformazioni seguenti:

- $F_{xMaster} = F_{xNodo}$
- $F_{yMaster} = F_{yNodo}$
- $M_{zMaster} = M_{zNodo} - F_{xNodo} (y_{App} - y_{Master}) + F_{yNodo} (x_{App} - x_{Master})$



2.12 Aree di carico

Un'area di carico è definita da una superficie contornata da travi di bordo ed i carichi superficiali su essa agenti vengono riportati dal programma sulle travi perimetrali in ragione dell'area di influenza relativa ad ogni trave e della direzione di orditura della superficie.

È importante rilevare che la direzione di orditura viene assunta dal programma con riferimento al primo lato della superficie di carico e non con riferimento all'asse x globale della struttura.

In particolare ricordiamo che le aree di carico fungono esclusivamente da supporto per il calcolo dei carichi di tipo superficiale in quanto i carichi definiti tramite tali aree di carico in effetti vengono trasferiti (sotto forma di carichi lineari o carichi nodali concentrati nei nodi) sulle travi perimetrali che contornano l'area di carico stessa.

A seguire vengono riportati per ogni tipologia definita i carichi agenti nelle varie condizioni di carico. La dizione:

Globale	indica che il carico è definito nel sistema di riferimento globale della struttura.
Globale Proiettato	indica che il carico è definito nel sistema di riferimento globale della struttura ma il valore viene computato in proiezione.
Locale	indica che il carico è definito nel sistema di riferimento locale della superficie di carico.

2.13 Condizioni e combinazioni di carico

Le condizioni di carico dinamiche sono assimilate dal software ad una condizione di carico distinta per ogni direzione di ingresso del sisma. Pertanto qualora agiscano sulla struttura n condizioni di carico statiche e il progettista abbia supposto che la struttura venga sollecitata da un sisma entrante in m direzioni, la struttura stessa viene considerata del programma come soggetta ad $n+m$ condizioni di carico.

Le combinazioni di carico, definite dal progettista, combinano fra loro le $n+m$ condizioni di carico ognuna partecipante alla combinazione i -esima secondo i fattori di partecipazione definiti.

3 TEST DI VALIDAZIONE DEL SOFTWARE

Documento relativo a: Affidabilità del Codice di calcolo WinStrand

Ditta produttrice: En.Ex.Sys. s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)

Campo di applicazione: analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Il cap. 10 del Decreto del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 14 Gennaio 2008 fornisce le istruzioni relative alla Redazione dei progetti strutturali esecutivi e delle relazioni di calcolo, cui il progettista delle strutture deve attenersi nella redazione degli elaborati progettuali.

Il punto 10.2 Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo specifica: “Qualora l'analisi strutturale e le relative verifiche siano condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico, il progettista dovrà controllare l'affidabilità dei codici utilizzati e verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, curando nel contempo che la presentazione dei risultati stessi sia tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità.”

Nella fase di stesura della relazione di calcolo, utilizzando i tabulati provenienti da codici di calcolo, è demandato al progettista il compito di analisi preliminare della documentazione:

Il progettista dovrà esaminare preliminarmente la documentazione a corredo del software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, che sarà fornita dal produttore o dal distributore del software, dovrà contenere una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, per i quali dovranno essere forniti i file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

Il presente documento costituisce assieme alle stampe degli esempi documento di validazione dei software prodotti dalla En.Ex.Sys srl.

4 BENCHMARK

Il controllo della affidabilità delle analisi numeriche è stato condotto su una serie di esempi di letteratura la cui soluzione sia esprimibile in forma chiusa, allo scopo di verificare l'affidabilità del software.

Gli esempi condotti, corredati della fonte di riferimento, dei risultati numerici e dei file dati permettono la riproduzione integrale degli stessi da parte degli utenti.

- Test 001: Frequenze naturali di vibrazione di una trave appoggiata
- Test 002: Frequenze naturali di vibrazione di una trave a mensola
- Test 003: Frequenza naturale di vibrazione di un oscillatore semplice
- Test 004: Trave piana con estremi incastrati
- Test 005: Sistema piano di aste sospese
- Test 006: Stato tensionale di una trave inflessa
- Test 007: Stato tensionale di una trave inflessa
- Test 008: Sistema piano di aste sospese
- Test 009: Trave a mensola soggetta a momento torcente concentrato
- Test 010: Telaio piano
- Test 011: Trave reticolare piana
- Test 012: Controllo dell'analisi condotta considerando il comportamento monolatero degli elementi biella - trave
- Test 013: Aste piane e carico termico
- Test 014: Flessione in una piastra circolare

4.1 Test 001 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave appoggiata

- Fonte: Ray, W. Clough, Joseph Penzien - *Dynamics of Structures*; Mc Graw-Hill Book Company, cap. 18
- Tipi di analisi: dinamica modale
- Descrizione schema statico: trave a sezione costante isostaticamente vincolata con due appoggi semplici soggetta al solo peso proprio.

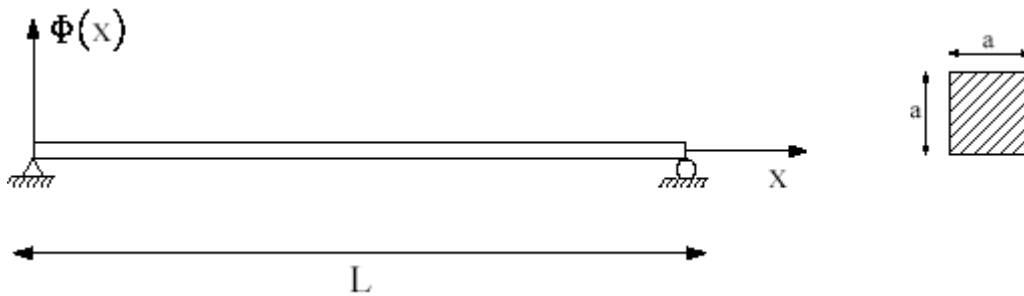


Figura 1-Schema statico

Obiettivo: determinare i primi tre modi di vibrare.

- Dati:
 - $E = 2100000$ [kg/cm²]
 - $a = 30$ [cm]
 - $L = 10$ [m]
 - $P_p = 706.5$ [kg/m]
- Modello: La trave reale viene modellata con 20 elementi finiti di uguale lunghezza. I nodi di estremità vengono vincolati in modo da lasciare libera solo la rotazione Y. Per tutti i nodi restanti si lascia libera la rotazione Y e le traslazioni nel piano XZ.
- File dati: [Test 001](#)

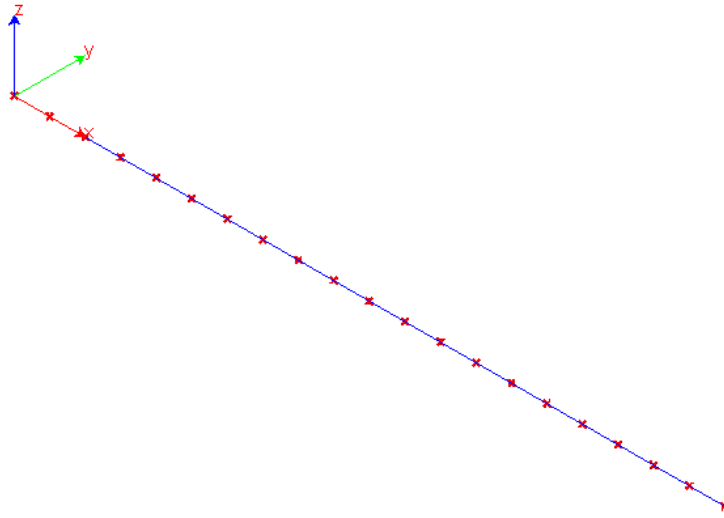


Figura 2-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
ω_1 [rad/s]	43.79	43.74	0.999
ω_2 [rad/s]	175.16	174.34	0.995
ω_3 [rad/s]	394.11	389.96	0.990

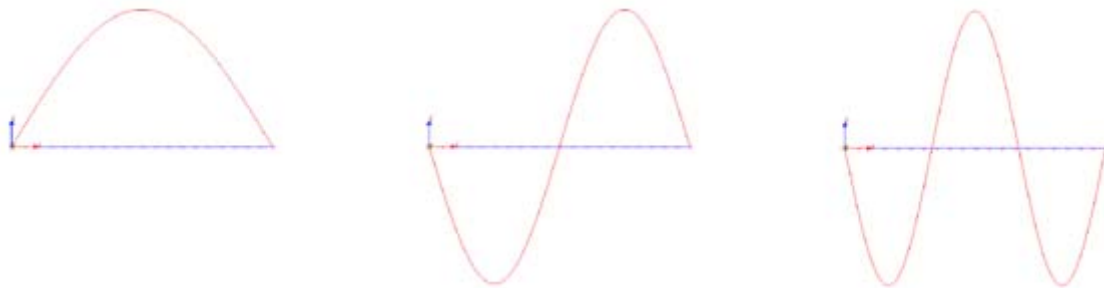


Figura 3-Prime tre forme modali

4.2 Test 002 - Frequenze naturali di vibrazione di una trave a mensola

- Fonte: Ray, W. Clough, Joseph Penzien - *Dynamics of Structures*; Mc Graw-Hill Book Company, cap. 1
- Tipi di analisi: dinamica modale
- Descrizione schema statico: trave a sezione costante con un estremo incastrato e l'altro libero soggetta al solo peso proprio.

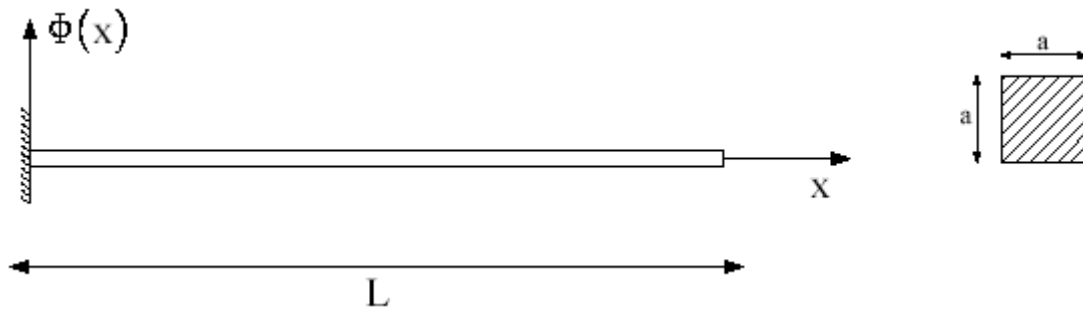


Figura 4-Schema statico

Obiettivo: determinare i primi tre modi di vibrare.

- Dati:
 - $E = 2100000$ [kg/cm²]
 - $a = 30$ [cm]
 - $L = 10$ [m]
 - $P_p = 706.5$ [kg/m]
- Modello: La trave reale viene modellata con 20 elementi finiti di uguale lunghezza. Il primo nodo di estremità viene vincolato completamente in modo da bloccare tutti i gradi di libertà. Per tutti i nodi restanti si lascia libera la rotazione Y e le traslazioni nel piano XZ.
- File dati: [Test 002](#)

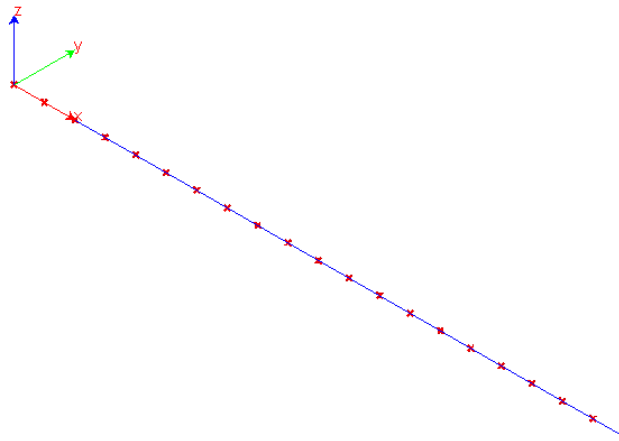


Figura 5-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
ω_1 [rad/s]	15.60	15.57	0.998
ω_2 [rad/s]	97.76	97.00	0.992
ω_3 [rad/s]	273.76	269.52	0.985

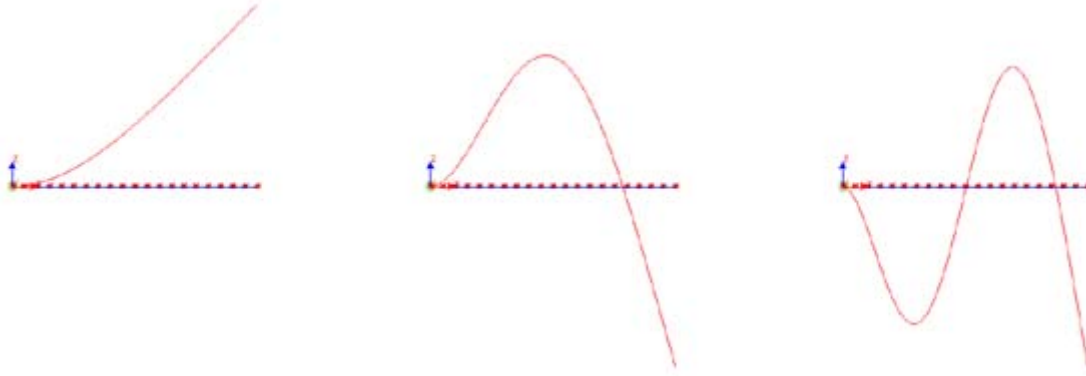


Figura 6-Prime tre forme modali

4.3 Test 003 - Frequenza naturale di vibrazione di un oscillatore semplice

- Fonte: W. T. Thomson - Vibrazioni Meccaniche Teoria ed applicazioni; Tamburini editore Milano
- Tipi di analisi: dinamica modale
- Descrizione schema statico: sistema dinamico ad un solo grado di libertà formato da una molla con un estremo vincolato connessa nell'altro estremo ad una massa. La molla è considerata priva di massa e con rigidezza K .

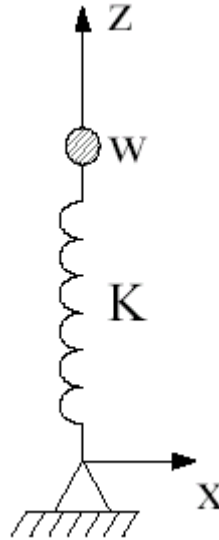


Figura 7-Schema statico

Obiettivo: determinare il periodo proprio del sistema.

- Dati:
 - $K = 857.18$ [kg/m]
 - $w = 1.13$ [kg] (2.5 [lb])
 - $g = 9.81$ [m/sec²]
- Modello: Per simulare la molla si è impiegato un elemento pilastro (in direzione Z) con rigidezza assiale EA/L pari a quella della molla. La lunghezza L della molla è arbitraria. Il primo nodo di estremità viene vincolato completamente in modo da bloccare tutti i gradi di libertà. L'estremo opposto ha un solo grado di libertà libero nella direzione di traslazione Z . La massa è modellata con una forza concentrata P_z in testa al pilastro pari a w .
- File dati: [Test 003](#)



Figura 8-
Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
ω_1 [rad/s]	86.085	86.120	1.0000

4.4 Test 004 - Trave piana con estremi incastrati

- Fonte: Timoshenko - Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pag. 26, problem 10
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: asta prismatica di sezione costante incastrata agli estremi e soggetta alle azioni assiali F_1 ed F_2 in corrispondenza di due sezioni intermedie.

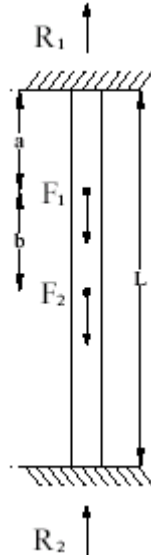


Figura 9-
Schema statico

Obiettivo: determinare le reazioni vincolari R_1 ed R_2 trascurando il peso delle aste.

- Dati:
 - $E = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $L = 24.5 \text{ [m]}$
 - $a = b = 0.3 L = 7.62 \text{ [m]}$
 - $A = 100 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $F_1 = 2.0 \text{ [t]}$
 - $F_2 = 0.45349 \text{ [t]}$
- Modello: I nodi vengono inseriti in corrispondenza delle estremità vincolate e dei due punti di applicazione delle forze F_1 ed F_2 .
- File dati: [Test 004](#)

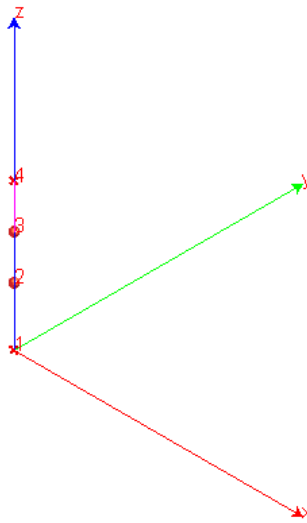


Figura 10-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
R ₁ [kg]	408.23	408.23	1.000
R ₂ [kg]	272.15	272.15	1.000

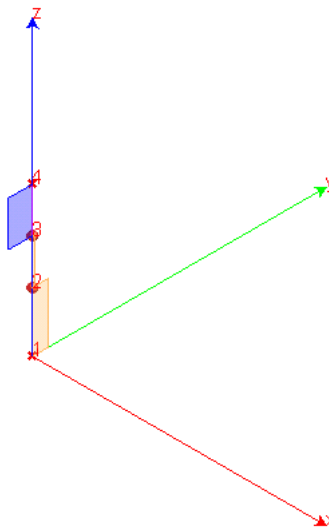


Figura 11- Diagramma sforzo normale nelle aste: asta 1-2 compressa, asta 3-4 tesa

4.5 Test 005 - Sistema piano di aste sospese

- Fonte: Timoshenko - Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pag. 10, problem 2
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: struttura simmetrica costituita da due aste inclinate connesse sull'asse di simmetria e vincolate sulle due estremità rimanenti (vedi Fig. 1). Le aste sono di acciaio con lunghezza L e sezione trasversale pari ad A . Il carico concentrato F agisce sulla sezione di simmetria.

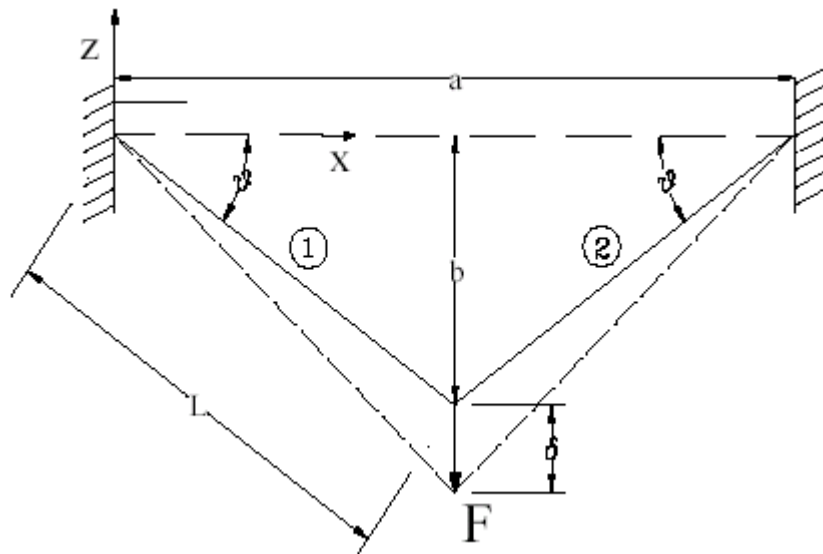


Figura 12-Schema statico

Obiettivo: determinare il valore della tensione σ in ciascuna delle aste e lo spostamento δ della sezione di simmetria trascurando il peso delle aste.

- Dati:
 - $E = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $L = 457.20 \text{ [cm]}$
 - $\theta = 30 \text{ [}^\circ\text{]}$
 - $A = 3.23 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $F = 2267 \text{ [kg]}$
- Modello: La distanza tra i nodi di estremità è calcolata pari ad $a = 2L \cos \theta$. La freccia con cui posizionare il nodo intermedio vale $b = L \sin \theta$.
- File dati: [Test 005](#)

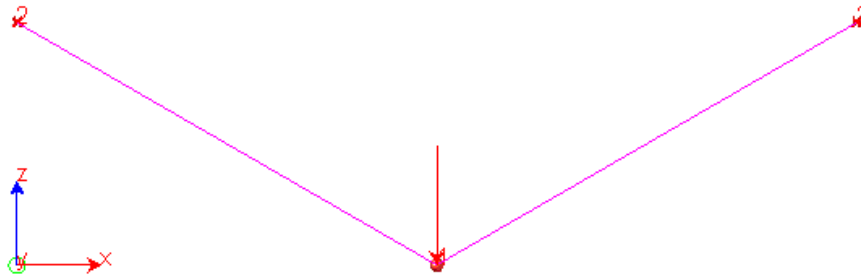


Figura 13-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
σ [kg/cm ²]	689.5	701.86	1.018
δ [mm]	3.048	3.103	1.018

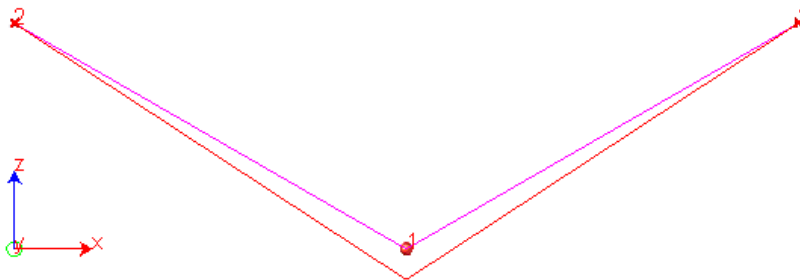


Figura 14-Deformata

4.6 Test 006 - Stato tensionale di una trave inflessa

- Fonte: Timoshenko - Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pag. 98, problem 4
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: trave isostatica di luce L con due sbalzi di luce a soggetti al carico distribuito di intensità w . La trave ha sezione a doppio T con sezione trasversale pari ad A .

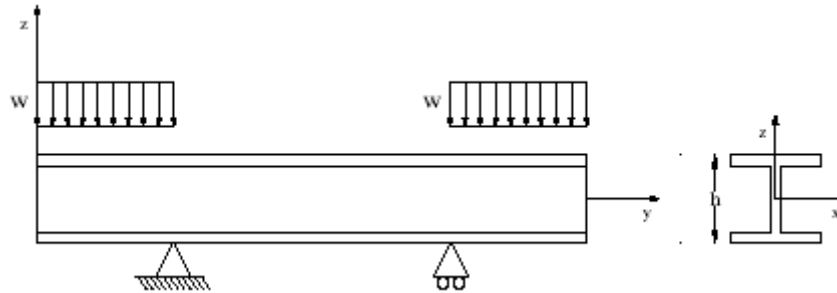


Figura 15-Schema statico

- Obiettivo: determinare nella sezione di mezzeria il valore della tensione σ_{\max} e dello spostamento verticale δ trascurando il peso delle aste.
- Dati:
 - $E = 2068428$ [kg/cm²]
 - $L = 609.6$ [cm]
 - $a = 304.8$ [cm]
 - $h = 76.2$ [cm]
 - $A = 326.77$ [cm²]
 - $J = 328488$ [cm⁴]
 - $w = 14.88$ [t/m]
- Modello: I due nodi di estremità e quello in posizione mediana sono liberi. Il primo nodo nella posizione del primo vincolo ha un solo grado di libertà libero (rotazione Y) mentre il nodo in corrispondenza del secondo vincolo ha due gradi di libertà (rotazione Y e traslazione X).
- File dati: [Test 006](#)



Figura 16-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
σ [cm ²]	786	802	1.020
δ [mm]	4.620	4.725	1.023

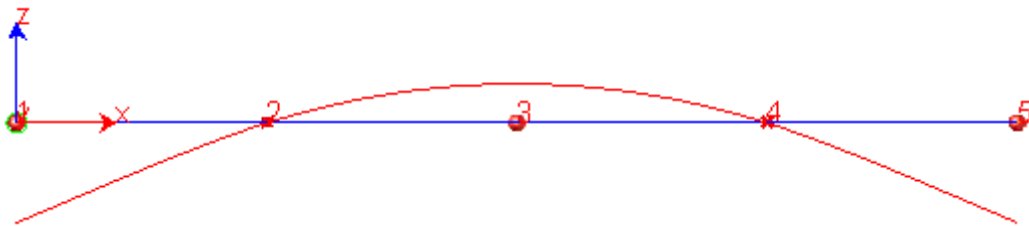


Figura 17-Deformata

4.7 Test 007 - Stato tensionale di una trave inflessa

- Fonte: Cremonesi - Manuale Ingegneria Civile, ESAC, SEZ. I, pag. 82
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: trave con incastro sul primo estremo e carrello sull'estremo opposto. La trave con sezione trasversale circolare con diametro d e luce L è soggetta al carico uniformemente distribuito q su tutta la campata.

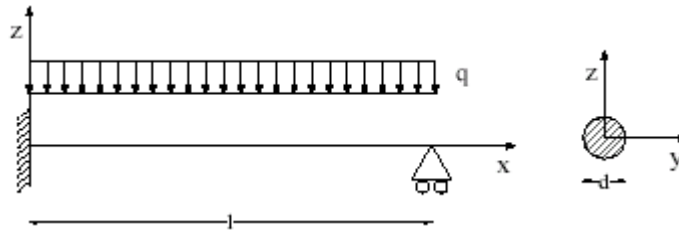


Figura 18-Schema statico

Obiettivo: determinare nella sezione incastrata il valore del momento flettente M_a e nella sezione opposta il valore del taglio V_b . Si trascura il peso delle aste.

- Dati:
- $E = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
- $L = 50.8 \text{ [cm]}$
- $d = 3.81 \text{ [cm]}$
- $q = 1.784 \text{ [t/m]}$
- Modello: La trave viene modellata con due aste in serie. Il nodo sulla prima estremità viene incastrato (zero gradi di libertà), quello in posizione mediana è totalmente libero, il nodo sull'estremità opposta ha due gradi di libertà liberi (rotazione Y e traslazione X).
- File dati: [Test 007](#)

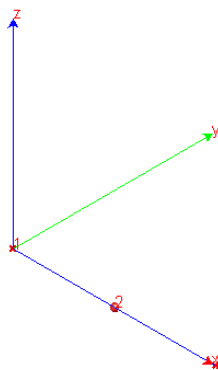


Figura 19-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
--	-------------------	-----------	----------

M _a [tm]	0.057	0.057	1.000
V _b [kg]	340.19	340.17	1.000

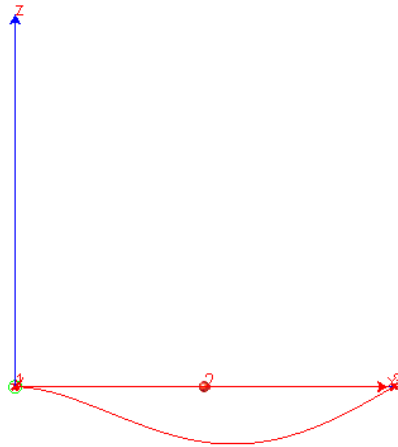


Figura 20-Deformata

4.8 Test 008 - Sistema piano di aste sospese

- Fonte: W. Nash, Strength of Material, pag. 28, prob. 2.3
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: una barra orizzontale infinitamente rigida, caricata con due forze concentrate F , è sospesa in tre punti con le aste verticali descritte in Fig. 1. Le due aste più esterne sono in acciaio mentre quella intermedia è in rame. Nel punto di sospensione le tre aste sono incastrate.

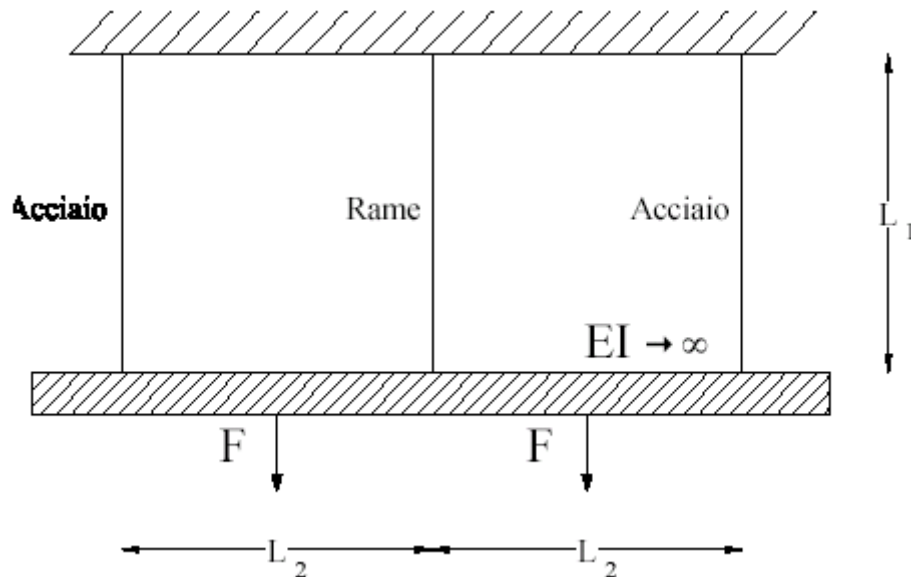


Figura 21-Schema statico

Obiettivo: determinare lo sforzo assiale in ciascuna delle tre aste. Si trascura il peso delle aste.

- Dati:
 - $E_{\text{acc}} = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $E_{\text{rame}} = 1172110 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $L_1 = 213.36 \text{ [cm]}$
 - $L_2 = 304.80 \text{ [cm]}$
 - $A_{\text{acc}} = 3.2258 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $A_{\text{rame}} = 9.6774 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $F = 5.44 \text{ [t]}$
- Modello: Il sistema simmetrico è descritto con 8 nodi di cui 3 nei punti di sospensione delle aste verticali, 3 nelle intersezioni delle aste verticali con la barra orizzontale e 2 nei punti di applicazione dei carichi F . Tra i suddetti nodi si connettono 7 aste con le relative caratteristiche. I tre nodi di sospensione sono completamente vincolati (zero gradi di libertà). Tutti gli altri nodi possono spostarsi nel piano X-Z e ruotare intorno ad Y. La barra infinitamente rigida è simulata assegnando un modulo elastico di quattro ordini di grandezza maggiore rispetto agli altri.

- File dati: [Test 008](#)

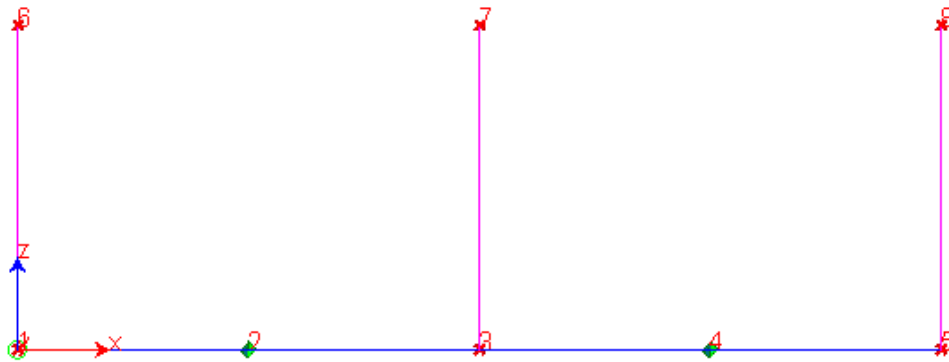


Figura 22-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
$R_6=R_8$ [t]	2.94	2.99	1.017
R_7 [t]	4.98	4.90	0.984

R_6 , R_7 ed R_8 sono le reazioni verticali nei rispettivi nodi. Tali valori eguagliano gli sforzi normali nelle corrispondenti aste.

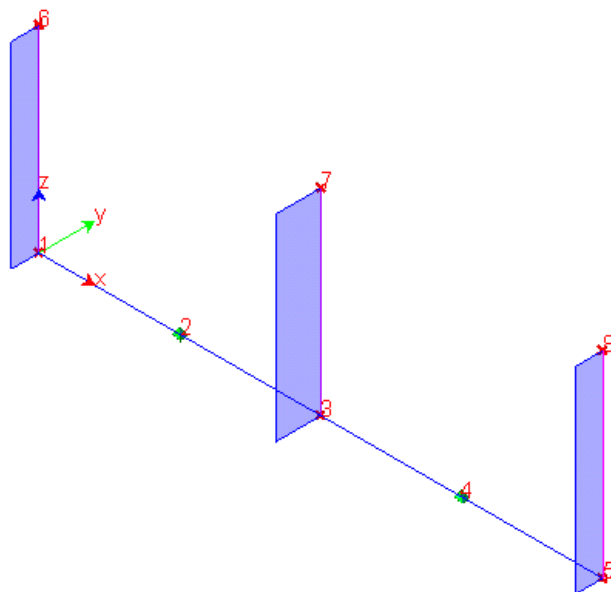


Figura 23-Diagrammi degli sforzi normali

4.9 Test 009 - Trave a mensola soggetta a momento torcente concentrato

- Fonte: NAFEMS, Background to Benchmarks, 1993, test LE5
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: trave con incastro sul primo estremo e libera sull'estremo opposto. La trave con sezione trasversale a Z di spessore t e luce L è soggetta in corrispondenza della sezione sull'estremità libera ad una coppia torcente generata dalla presenza di due forze di taglio S concentrate sulle ali.

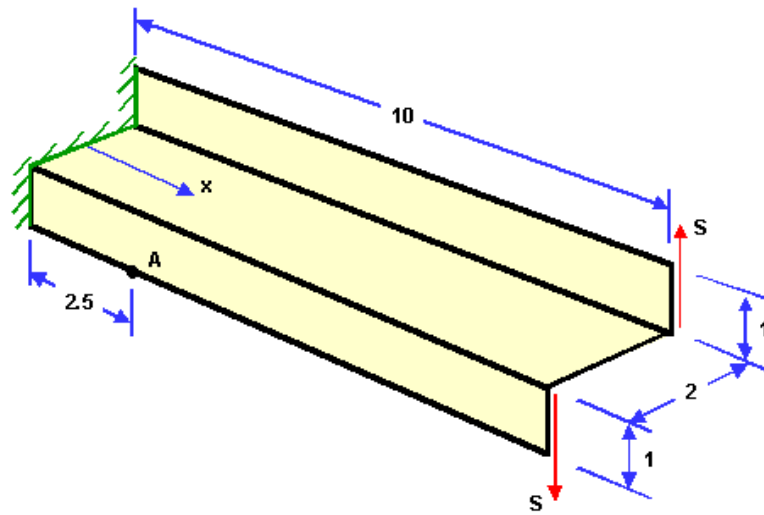


Figura 24-Schema statico

- Obiettivo: determinare nel punto A la tensione normale σ_x nella sezione trasversale condotta in $x=2,5$ m dall'incastro. Si trascura il peso della trave.
- Dati:
 - $E = 2100000$ [kg/cm²]
 - $\nu = 0.3$
 - $L = 10$ [m]
 - $t = 0.1$ [m]
 - $S = 0.6$ [MN]
- Modello: La trave viene modellata con una mesh uniforme di 24 elementi piani connessi a 36 nodi. I nodi per $x=0$ sono tutti incastrati (zero gradi di libertà) mentre i rimanenti risultano totalmente liberi.
- File dati: [Test 009](#)

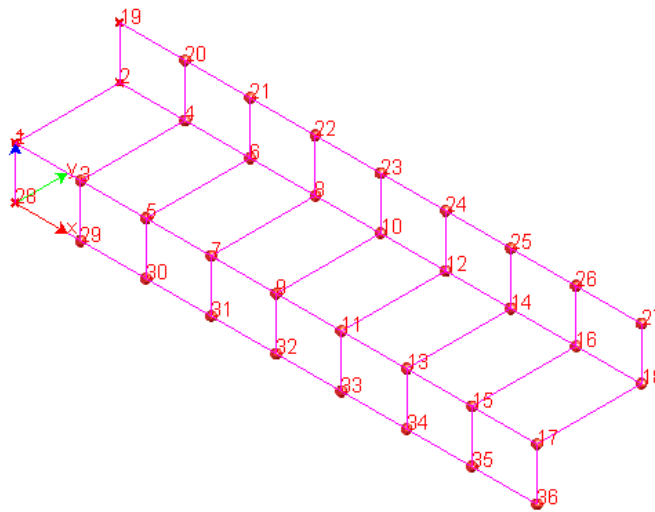


Figura 25-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
σ_x [MPa]	107.9	103.8	0,96

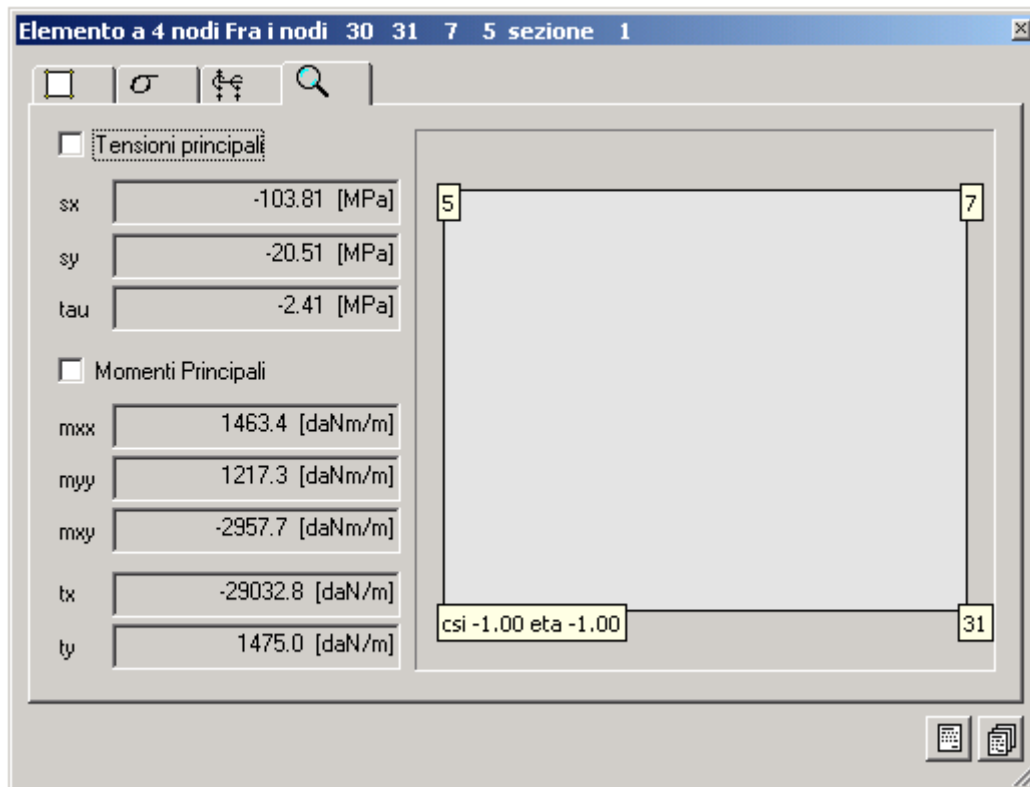


Figura 26-Valore puntuale nel nodo 30

4.10 Test 010 - Telaio piano

- Fonte: Timoshenko, Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pag. 188
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: Portale incastrato alla base dei ritti e caricato nella mezzeria del traverso con un carico concentrato P. Lo schema è staticamente indeterminato.

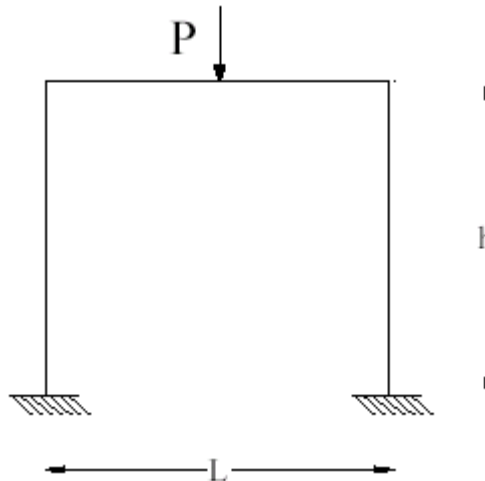


Figura 27-Schema statico

Obiettivo: determinare le reazioni verticali alla base dei ritti. Si trascura il peso delle aste.

- Dati:
 - $E = 2068428 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - $L = 3.04 \text{ [m]}$
 - $h = 2.54 \text{ [m]}$
 - $A_{rit} = 25.80 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $A_{trav} = 51.61 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - $P = 0.45 \text{ [t]}$
- Modello: I due nodi alla base del portale vengono vincolati in modo da lasciare libera solo la rotazione Z. I nodi rimanenti sono completamente liberi. Il carico P viene applicato al nodo inserito in mezzeria del traverso.
- File dati: [Test 010](#)

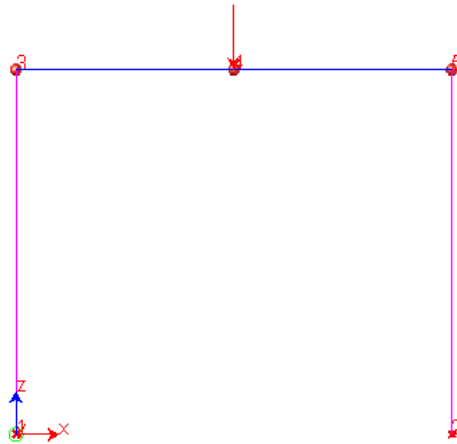


Figura 28-Modello

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
$R_1 = R_2 [t]$	0.225	0.225	1.000

4.11 Test 011 - Trave reticolare piana

- Fonte: Timoshenko, Strength of Material, Part I, Elementary Theory and Problems, pag. 188
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: La trave reticolare piana è formata da 9 aste di legno ed è vincolata esternamente con una cerniera ed un carrello. I vincoli interni tra le aste sono cerniere. La struttura è soggetta ai carichi esterni P_z e P_x .

Obiettivo: determinare gli spostamenti nodali associati alla configurazione di carico assegnata. Si trascura il peso delle aste.

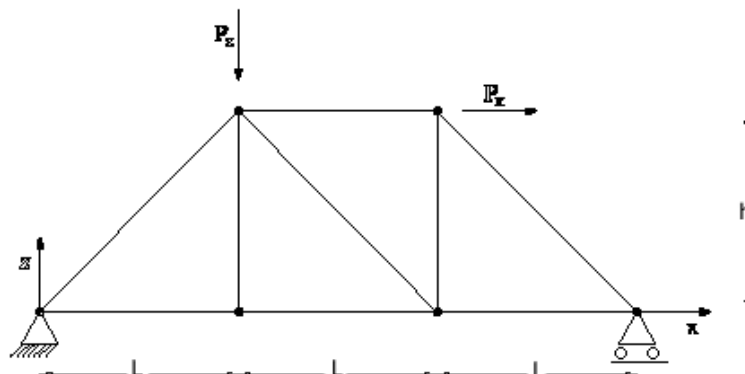


Figura 29-Schema statico

- Dati:
- $E = 141900 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
- $L = 6.096 \text{ [m]}$
- $h = 4.572 \text{ [m]}$
- $A = 929.03 \text{ [cm}^2\text{]}$
- $P_x = 8.90 \text{ [t]}$
- $P_z = 4.45 \text{ [t]}$
- Modello: Il nodo 1 ha un solo grado di libertà libero (rotazione Y). Il nodo 4 ha due gradi di libertà liberi (rotazione Y e traslazione X). I nodi rimanenti sono vincolati a spostarsi nel piano X-Z (U_x, U_z, R_y liberi).
- File dati: [Test 011](#)

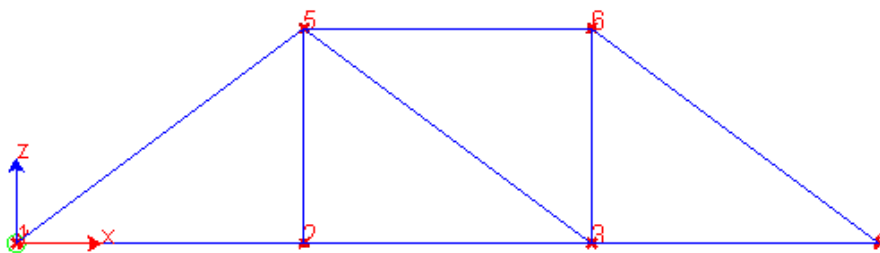


Figura 30-Modello

Analisi dei risultati

Spostamenti U_x

Ux nodo	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
1 [mm]	0.00	0.00	1.000
2 [mm]	0.45	0.46	1.022
3 [mm]	0.90	0.91	1.011
4 [mm]	1.12	1.14	1.018
5 [mm]	0.91	0.92	1.011
6 [mm]	1.09	1.11	1.018

Spostamenti U_z

Uz nodo	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
1 [mm]	0.00	0.00	1.000
2 [mm]	-1.33	-1.35	1.015
3 [mm]	-0.76	-0.77	1.013
4 [mm]	0.00	0.00	1.000
5 [mm]	-1.33	-1.35	1.015
6 [mm]	-0.63	-0.64	1.016

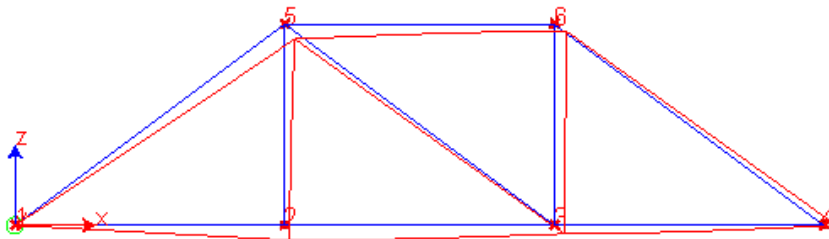


Figura 31-Deformata

4.12 Test 012 - Controllo dell'analisi condotta considerando il comportamento monolatero degli elementi biella - trave

- Fonte: Test interno EnExSys
- Tipi di analisi: statica non lineare (effetti dovuti al comportamento monolatero delle aste)
- Descrizione schema statico: Trave reticolare tipo Monier vincolata isostaticamente esternamente e soggetta a 10 kN per ogni nodo del corrente superiore.

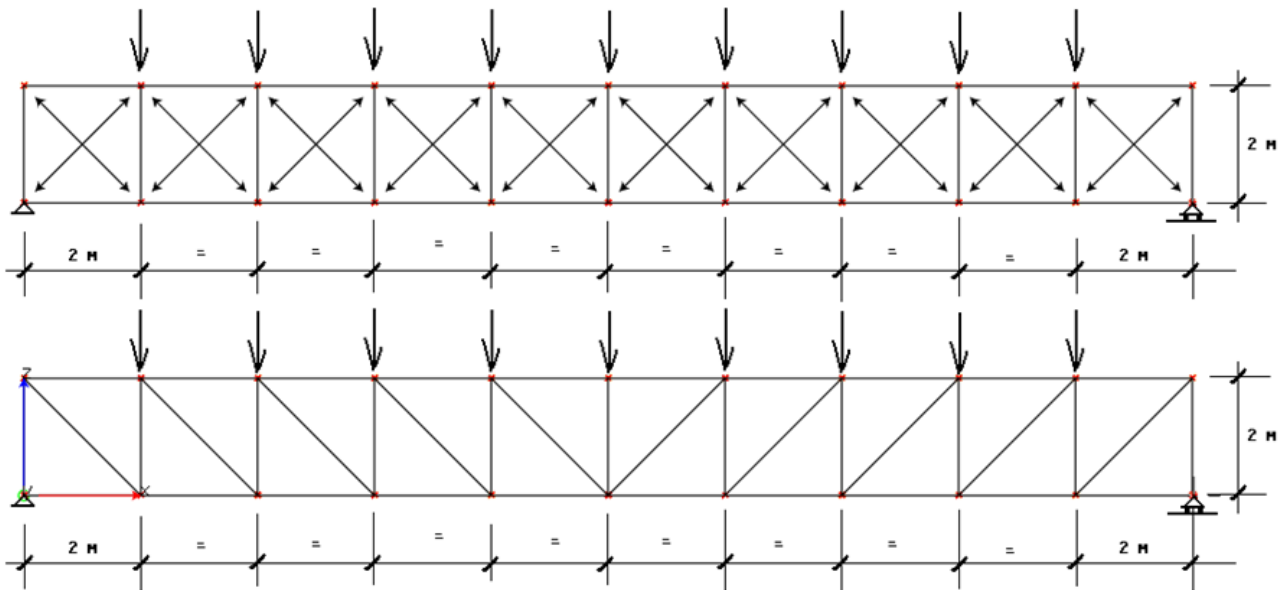


Figura 32-Schema statico

Obiettivo: Confrontare i risultati ottenuti nei due schemi statici: controllare che i risultati ottenuti in una struttura staticamente determinata ed in una iperstatica coincidano.

- Dati:
 - $E = 2100000 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$
 - Area correnti estradosso = $45.33 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - Area correnti intradosso = $45.33 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - Area diagonali = $38.85 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - Area montanti = $38.85 \text{ [cm}^2\text{]}$
 - Carico nodali applicato = 10 [kN] nodo per un totale di 90 [kN]
- Modello: La trave reale viene modellata con elementi finiti tipo biella. Le travi sono vincolate a muoversi nel piano x-z globale e sono esternamente isostatiche (nodo in basso a sinistra vincolato alla traslazione globalmente e nodo in basso a destra libero di spostarsi solo in direzione X).
- File dati: [Test 012](#)

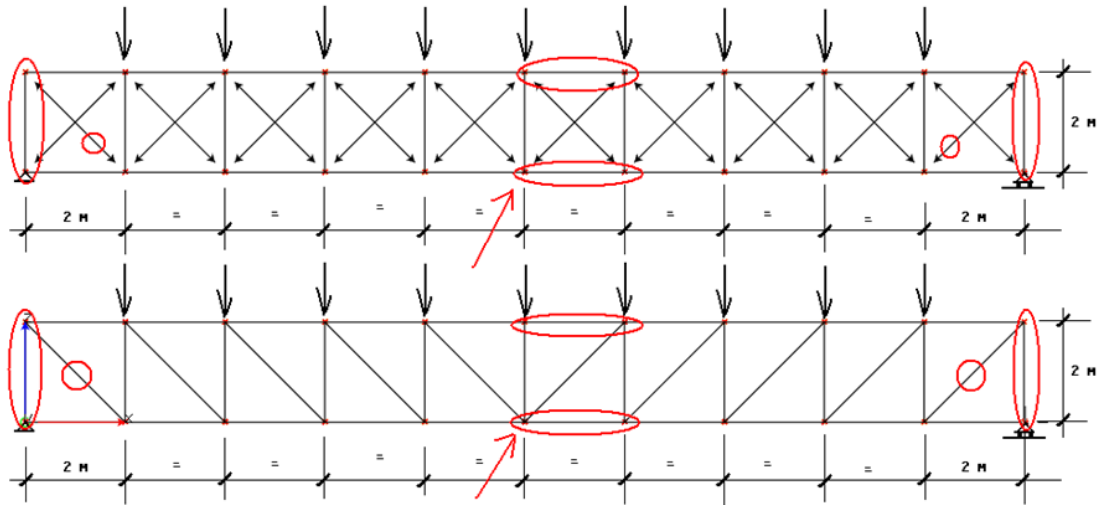


Figura 33-Modello

Analisi dei risultati

- Soluzione teorica (semplice modello isostatico):
- Reazione vincolare, sforzo nel primo montante: $(9 \times 10\text{kN} / 2) = 45 \text{ [kN]}$
- Sforzo assiale in un corrente in mezzeria: $(10 \times 45 - 8 \times 10 - 6 \times 10 - 4 \times 10 - 2 \times 10) / 2 = 125 \text{ [kN]}$
- Sforzo nel primo diagonale: $45/\cos(45^\circ) = 63.639 \text{ [kN]}$

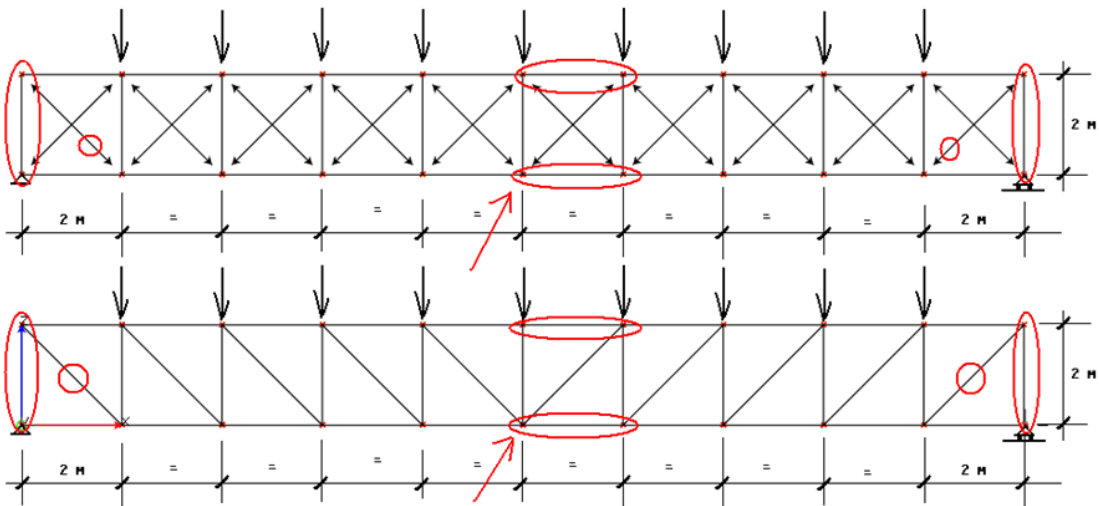


Figura 34-Aste analizzate

Sforzo assiale	Soluzione teorica	WinStrand Modello Isostatico	WinStrand Modello Iperstatico	rapporto
Nell'asta centrale del corrente superiore [kN]	125	125	125	1
Nell'asta centrale del corrente inferiore [kN]	125	125	125	1
Nel primo montante a sinistra [kN]	45	45	45	1
Nel primo montante a destra [kN]	45	45	45	1
Nel primo diagonale a sinistra [kN]	63.639	63.639	63.639	1

Nel primo diagonale a destra [kN]	63.639	63.639	63.639	1
Spostamento del nodo centrale [mm]	-6.786	-6.786	-6.786	1

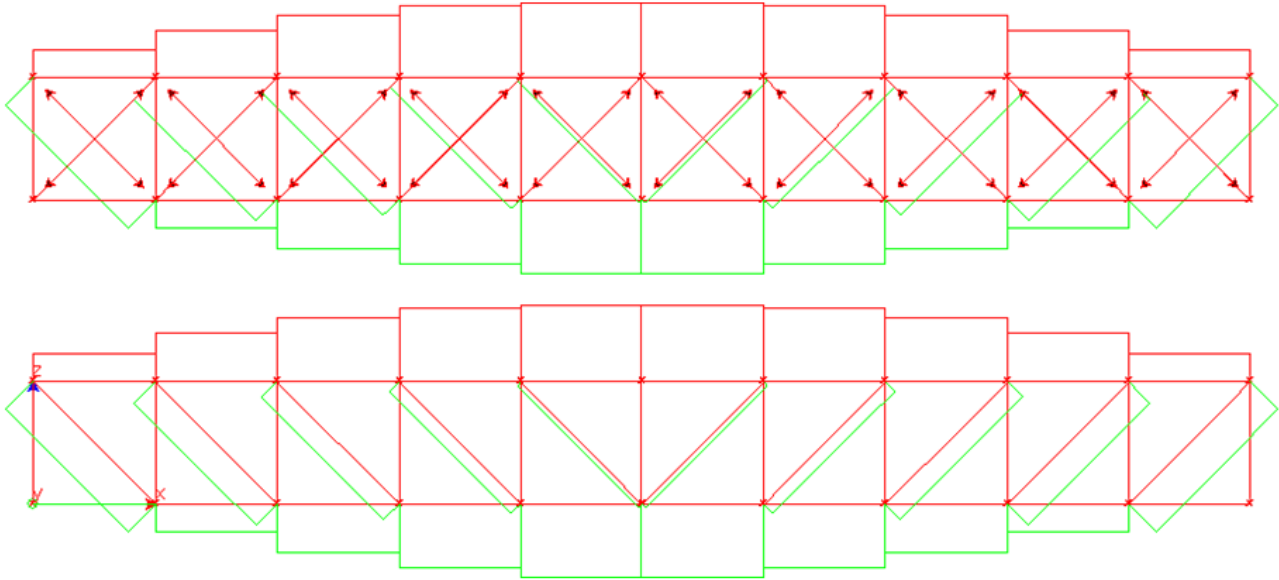


Figura 35-Diagramma dello sforzo assiale e deformata

4.13 Test 013 - Aste piane e carico termico

- Fonte: R. D. Cook, D. S. Malkus, M.E. Plesha, Concepts and applications of finite element analysis, III ed., J. Wiley & Sons, pag. 57
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: Tre aste uguali in serie formano un sistema incastrato alle estremità con luce pari a 3L. Solo le prime due aste sono soggette ad una variazione termica uniforme DT.

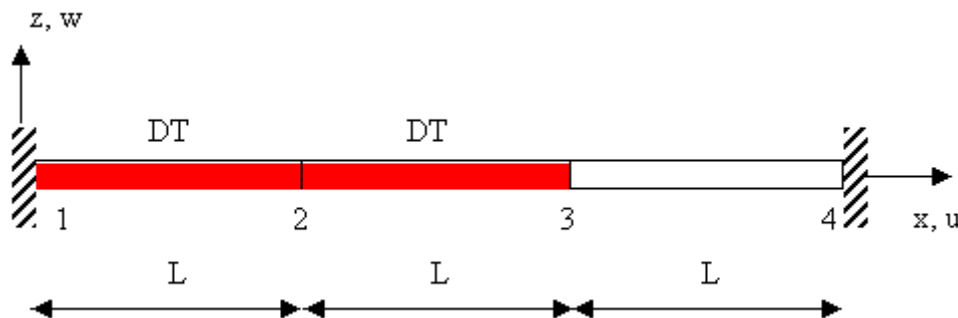


Figura 36-Schema statico

Obiettivo: determinare lo spostamento orizzontale della sezione 3 e lo sforzo assiale N_{12} , N_{23} , N_{34} in ciascuna delle tre aste.

- Dati:
 - $E = 2100000$ [kg/cm²]
 - $\nu = 0.33$
 - $L = 100$ [cm]
 - $A = 25$ [cm²]
 - $\alpha = 0.000012$ [1/°C]
 - $DT = 833.333$ [°C]
- Modello: I nodi 1 e 4 sono incastrati (zero gradi di libertà) mentre gli altri intermedi risultano totalmente liberi. Il carico termico è applicato alle aste 1-2 e 2-3.
- File dati: [Test 013](#)

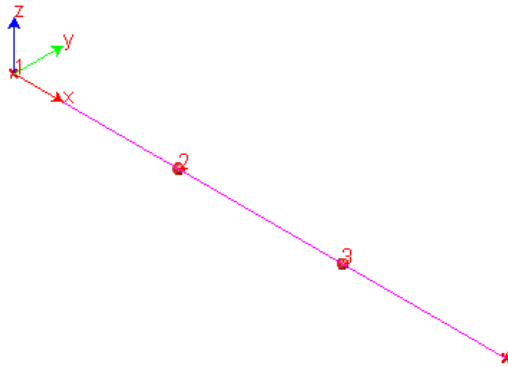


Figura 37-Modello

Analisi dei risultati

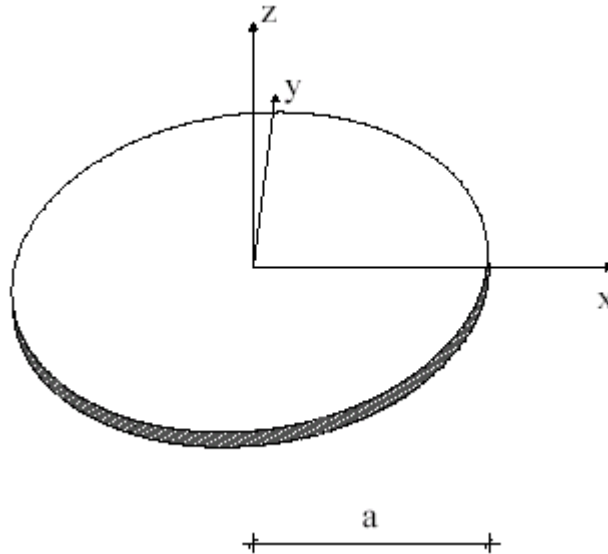
Sforzo assiale	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
u_s [cm]	2/3	0.67	1.000
N_{12}, N_{23}, N_{34} [t]	350.0	350.0	1.000



Figura 38-Diagramma sforzo normale

4.14 Test 014 - Flessione in una piastra circolare

- Fonte: Cremonesi - Manuale Ingegneria Civile, ESAC, SEZ. II, pag. 114
- Tipi di analisi: statica lineare
- Descrizione schema statico: Piastra circolare sottile di raggio a e spessore t soggetta a diverse condizioni di vincolo sul contorno e di carico.



- Obiettivo: determinare l'abbassamento w del centro della piastra, trascurando il peso della piastra, nei seguenti casi:
 - a) carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno incastrato;
 - b) carico concentrato P applicato nel centro della piastra e contorno incastrato;
 - c) carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno appoggiato.
- Dati:
 - $E = 2100000$ [kg/cm²]
 - $n = 0.3$
 - $a = 1.50$ [m]
 - $t = 3$ [cm]
 - $q_0 = 10$ [t/m²]
 - $P = 2$ [t]
- Modello: La piastra viene modellata nei tre casi sempre nello stesso modo e cioè con una mesh di elementi piani a 4 nodi. Nella direzione radiale sono presenti 8 intervalli mentre lungo il perimetro sono presenti 20 intervalli per un totale di 150 elementi finiti.
- File dati: [Test 014 A](#), [Test 014 B](#), [Test 014 C](#)

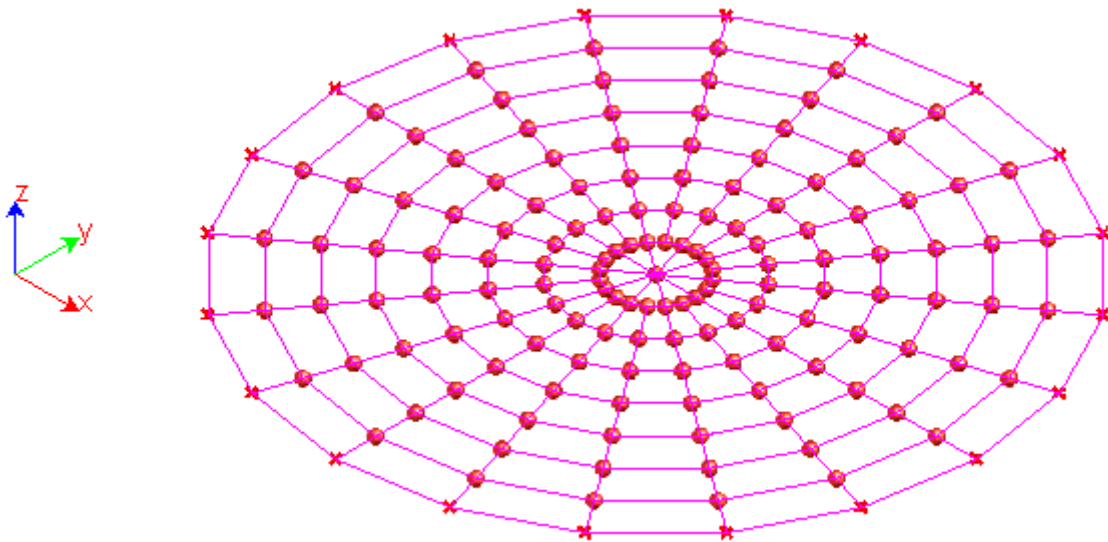


Figura 39-Modello

Caso A - carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno incastrato

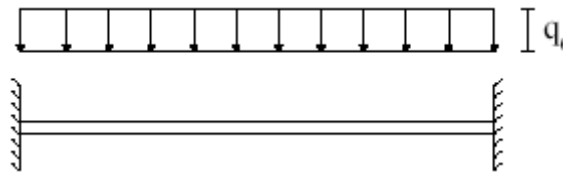


Figura 40-Schema del caso A

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto	
w [mm]		15.20	15.25	1.003

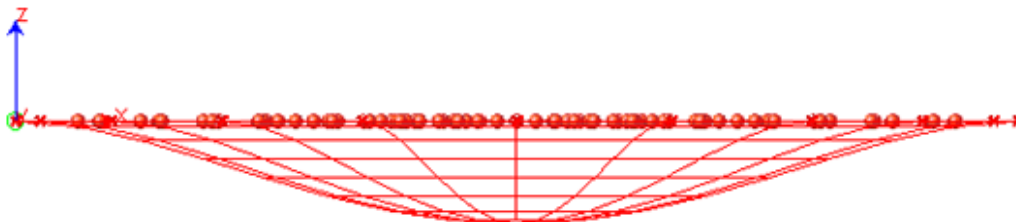


Figura 41-Deformata Caso A

Caso B - carico concentrato P applicato nel centro della piastra e contorno incastrato

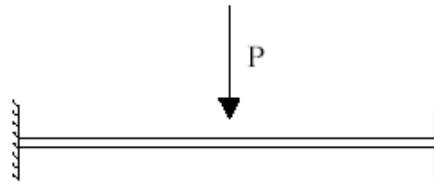


Figura 42-Schema del Caso B

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	1.725	1.722	0.998

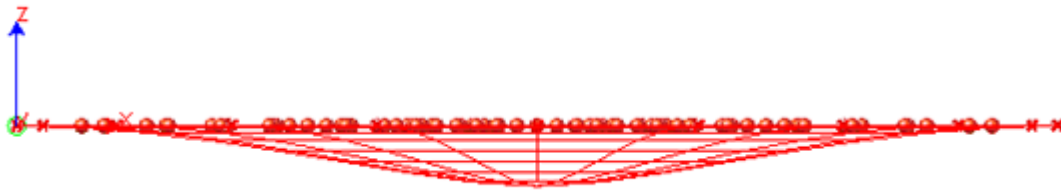


Figura 43-Deformata del Caso B

Caso C - carico uniformemente distribuito q_0 su tutta la piastra e contorno appoggiato

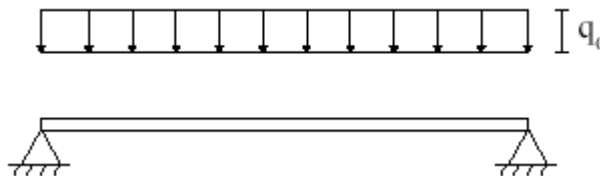


Figura 44-Schema del Caso C

Analisi dei risultati

	Soluzione teorica	WinStrand	rapporto
w [mm]	61.96	61.88	0.999

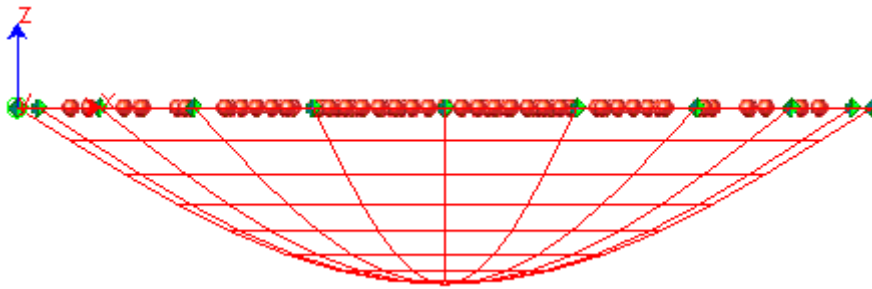


Figura 45-Deformata del Caso C