

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

## RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

### FV04 – FERMATA ALBENGA

Relazione di calcolo

Tettoia metallica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I V 0 1   0 0   D   2 6   C L   F V 0 4 0 0   0 0 5   A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P.L. Carci <i>P.L. Carci</i>	Gennaio 2022	M. Severi <i>M. Severi</i>	Gennaio 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Gennaio 2022	A Perego Gennaio 2022

File: IV0100D26CLFV0400005A.doc

n. Elab.: X

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	4
2.1	GEOMETRIA .....	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
3.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	5
3.2	ELABORATI PROGETTUALI .....	6
4	MATERIALI .....	6
4.1	ELEMENTI IN C.A. ....	6
4.2	ELEMENTI IN CARPENTERIA METALLICA .....	8
4.3	DURABILITÀ STRUTTURALE ELEMENTI IN C.A. ....	9
4.3.1	Classe di esposizione .....	9
4.3.2	Copriferro.....	10
4.4	DURABILITÀ ELEMENTI IN CARPENTERIA METALLICA.....	12
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	12
6	ANALISI DEI CARICHI .....	13
6.1	PESI PROPRI .....	13
6.2	CARICHI PERMANENTI PORTATI .....	14
6.3	AZIONI VARIABILI.....	14
6.3.1	Azioni variabili verticali da destinazione d'uso .....	14
6.3.2	Azioni variabili: vento .....	14
6.3.3	Azioni variabili: neve .....	21
6.3.4	Azioni variabili: temperatura .....	23
6.3.5	Azione imperfezioni per analisi globale .....	23
6.3.6	Azione sismica .....	24
6.3.7	Spettro di progetto per lo SLU .....	27
6.3.8	Spettro di progetto per lo Stato limite di Danno .....	27
6.3.9	Spettro di progetto per lo Stato limite di Operatività.....	28
7	COMBINAZIONI DI CALCOLO .....	29
7.1	COMBINAZIONI GEOTECNICHE .....	30
7.2	ELENCO COMBINAZIONI DI CARICO.....	31
8	MODELLO DI CALCOLO ED ANALISI STRUTTURALE .....	32
8.1.1	Origine e caratteristiche dei codici di calcolo .....	34
8.1.2	Affidabilità del codice di calcolo.....	34
8.2	CRITERI DI MODELLAZIONE DELLE MASSE STRUTTURALI.....	34
8.3	CALCOLO DELLE AZIONI INTERNE E DEGLI SPOSTAMENTI.....	35
8.3.1	Analisi dinamica modale con spettro di risposta di progetto .....	35
8.3.2	Combinazione delle riposte modali .....	36
8.3.3	Combinazione degli effetti delle componenti dell'azione sismica .....	36
9	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	36
9.1	RISULTATI DELL'ANALISI MODALE .....	36
9.2	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	39
10	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI OPERATIVITA' .....	47
10.1	ANALISI E CALCOLO DEGLI SPOSTAMENTI .....	47
11	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO ELEMENTI IN C.A. ....	49
11.1	VERIFICA PILASTRI.....	49
11.1.1	Verifica a presso-flessione .....	49
11.1.2	Verifica S.L.E. Pilastro.....	50
11.1.3	Armature pilastri .....	52
11.2	VERIFICA PLATEA DI FONDAZIONE.....	52
12	VERIFICA STATI LIMITE E DI ESERCIZIO ELEMENTI IN CARPENTERIA METALLICA .....	57

12.1.1	Verifica delle connessioni.....	63
13	GIUNTI SISMICI.....	66
14	VERIFICHE DELLE FONDAZIONI .....	69
14.1	GENERALITÀ .....	69
14.2	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	71
15	GIUDIZIO MOTIVATO ACCETTABILITA' DEI RISULTATI .....	76

## 1 PREMESSA

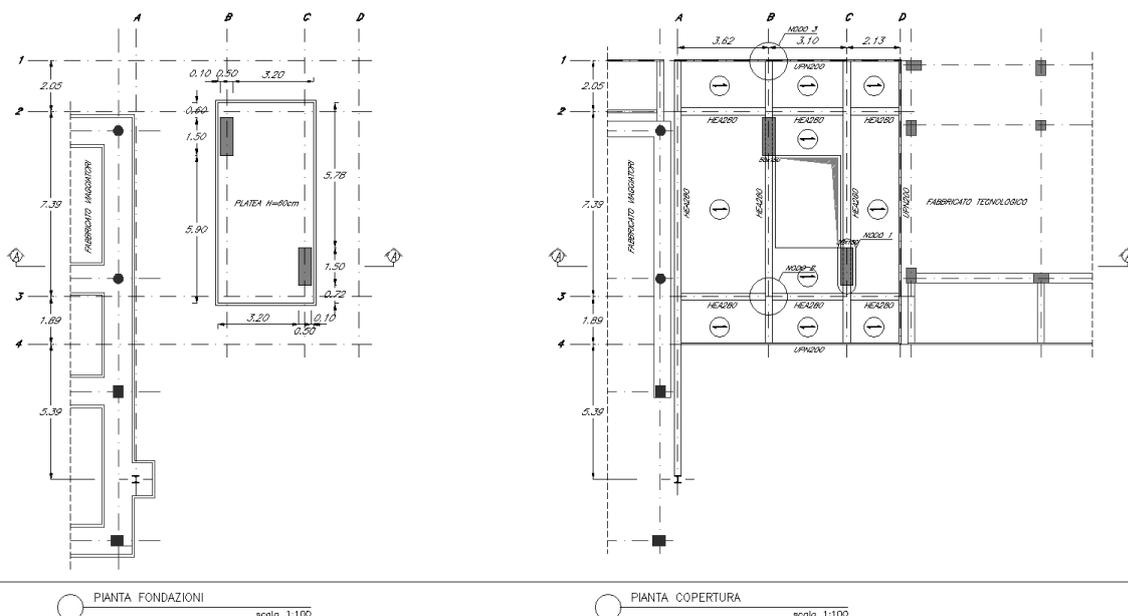
Nella presente relazione sono riportate le verifiche strutturali relative alla copertura metallica di collegamento tra il fabbricato viaggiatori ed il fabbricato tecnologico "FV04" da realizzarsi in corrispondenza della fermata Albenga nell'ambito del progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora in corrispondenza della progressiva chilometrica pk 86+227.

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

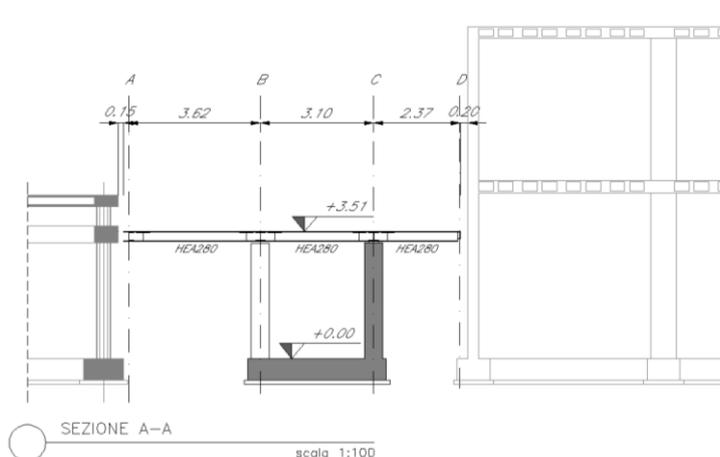
La struttura è realizzata a partire da una platea di fondazione dello spessore di 60 cm gettata sopra un magrone di pulizia dello spessore minimo di 10 cm. Dalla platea emergeranno due pilastri a sezione rettangolare 150x50 che sosterranno la struttura in carpenteria metallica della copertura. La tettoia avrà profili portanti HEA280 poggiate sopra i pilastri ed una bordatura perimetrale in profili UPN200. Dal lato che volge verso il fabbricato viaggiatori il bordo della struttura è realizzato ancora con un profilo HEA280 che poi diviene una colonna HEB280 fondata in corrispondenza di un allargamento della fondazione dell'edificio viaggiatori stesso. La tettoia presenta dei giunti strutturali di ampiezza 50 mm rispetto alle altre due strutture limitrofe. Data la presenza delle finiture esterne dei fabbricati tecnologico e viaggiatori, aventi spessore 10 cm) a rustico il giunto riportato negli elaborati grafici di progetto presenta ampiezza 150 mm.

La tettoia risulta completata superiormente con dei pannelli in lamiera coibentata, inferiormente la carpenteria verrà schermata con dei pannelli in lamiera stirata di alluminio tipo alucubond o similare.

### 2.1 Geometria



**Figura 1 – carpenterie strutturali**



**Figura 2 – sezioni**

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 Normative di riferimento

- [1]. L. n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- [2]. L. n. 64 del 2/2/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- [3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [4]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [6]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [7]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- [8]. RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili. Parte II – Sezione 6 - Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- [9]. UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- [10]. UNI EN 1991-1-2 (2005) - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali
- [11]. UNI EN 1997-1 (2005) - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [12]. UNI EN 1998-1 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [13]. UNI EN 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [14]. D.M. 31.07.2012: Approvazione delle Appendici Nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici.
- [15]. Manuale di Tecnologia del fissaggio HILTI Ed. 2008.

### 3.2 Elaborati progettuali

IV0100D26BZFFV0400001A

IV0100D26BZFFV0400002A

IV0100D26BZFFV0400003A

## 4 MATERIALI

### 4.1 Elementi in c.a.

Per le strutture di fondazione ed elevazione, sono prescritti materiali di qualità certificata; di seguito sono riportati i valori di calcolo per i materiali.

Calcestruzzo per fondazione ( $\gamma_m = 1,5$ ): **Classe C25/30**

PROPRIETA' MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO	
$R_{ck} = 30$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni
$f_{ck} = 25$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo <i>Anche <math>f_{ck} = 0.83 * R_{ck}</math></i>
$f_{cd} = 14.17$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo <i><math>f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c</math></i>
$\alpha_{cc} = 0.85$	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c = 1.50$	Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = 33$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo <i><math>f_{cm} = f_{ck} + 8</math> [N/mm<sup>2</sup>]</i>
$E_{cm} = 31476$ N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico (di Young) da assumere in sede di progettazione per il cls <i><math>E_c = 22000 * (f_{cm}/10)^{0.3}</math> [N/mm<sup>2</sup>]</i>
$f_{ctm} = 2.56$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo <i><math>f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3}</math> [N/mm<sup>2</sup>] per classi <math>\leq C50/60</math> <i><math>f_{ctm} = 2.12 + \ln[1 + (f_{cm}/10)]</math> [N/mm<sup>2</sup>] per classi <math>&gt; C50/60</math></i></i>
$f_{ctk,0.05} = 1.80$ N/mm <sup>2</sup>	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% <i><math>f_{ctk,0.05} = 0.7 * f_{ctm}</math></i>
$f_{ctd,0.05} = 1.20$ N/mm <sup>2</sup>	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% <i><math>f_{ctd,0.05} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c</math></i>
$f_{bk,0.05} = 4.04$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza corrispondente al frattile 5%) <i><math>f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.05}</math> <math>\eta = 1</math> per barre di diametro <math>\phi \leq 32mm</math> <math>\eta = (132 - \phi) / 100</math> per barre di diametro superiore</i>
$f_{bd,0.05} = 2.69$ N/mm <sup>2</sup>	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 5%) <i><math>f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c</math></i>
$f_{ctk,0.95} = 3.33$ N/mm <sup>2</sup>	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% <i><math>f_{ctk,0.95} = 1.3 * f_{ctm}</math></i>
$f_{ctd,0.95} = 2.22$ N/mm <sup>2</sup>	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% <i><math>f_{ctd,0.95} = f_{ctk,0.95} / \gamma_c</math></i>

$f_{bk,0.95} = 7.50 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95%) $f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.95}$ $\eta = 1$ per barre di diametro $\phi \leq 32\text{mm}$ $\eta = (132 - \phi) / 100$ per barre di diametro superiore
$f_{bd,0.95} = 5.00 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95) $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$
$f_{ctm} = 3.08 \text{ N/mm}^2$	Valor medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.2 * f_{ctm}$
$\sigma_{c,rara} = 15 \text{ N/mm}^2$	Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio per combinazione Rara $\sigma_{c,rara} \leq 0.60 * f_{ck}$
$\sigma_{c,perm} = 11.25 \text{ N/mm}^2$	Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio per combinazione Quasi Permanente $\sigma_{c,perm} \leq 0.45 * f_{ck}$

Calcestruzzo elevazione ( $\gamma_m = 1,5$ ): **Classe C32/40**

PROPRIETA' MECCANICHE DEL CALCESTRUZZO	
$R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica cubica a compressione del calcestruzzo a 28 giorni
$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$	Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo Anche $f_{ck} = 0.83 * R_{ck}$
$f_{cd} = 18,13 \text{ N/mm}^2$	Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo $f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$
$\alpha_{cc} = 0,85$	Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata
$\gamma_c = 1,50$	Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo
$f_{cm} = 40 \text{ N/mm}^2$	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
$E_{cm} = 33346 \text{ N/mm}^2$	Modulo elastico (di Young) da assumere in sede di progettazione per il cls $E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$
$f_{ctm} = 3,02 \text{ N/mm}^2$	Resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo $f_{ctm} = 0.30 * f_{ck}^{2/3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$ per classi $\leq C50/60$ $f_{ctm} = 2.12 * \ln[1 + (f_{cm} / 10)] \text{ [N/mm}^2\text{]}$ per classi $> C50/60$
$f_{ctk,0.05} = 2,12 \text{ N/mm}^2$	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% $f_{ctk,0.05} = 0.7 * f_{ctm}$
$f_{ctd,0.05} = 1,41 \text{ N/mm}^2$	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 5% $f_{ctd,0.05} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$

$f_{bk,0.05} = 4,76 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza corrispondente al frattile 5%) $f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.05}$ $\eta = 1$ per barre di diametro $\phi \leq 32\text{mm}$ $\eta = (132 - \phi) / 100$ per barre di diametro superiore
$f_{bd,0.05} = 3,18 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 5%) $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$
$f_{ctk,0.95} = 3,93 \text{ N/mm}^2$	Valore caratteristico della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% $f_{ctk,0.95} = 1.3 * f_{ctm}$
$f_{ctd,0.95} = 2,62 \text{ N/mm}^2$	Valore di progetto della resistenza a trazione del cls corrispondente al frattile 95% $f_{ctd,0.95} = f_{ctk,0.95} / \gamma_c$
$f_{bk,0.95} = 8,84 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95%) $f_{bk} = 2,25 * \eta * f_{ctk,0.95}$ $\eta = 1$ per barre di diametro $\phi \leq 32\text{mm}$ $\eta = (132 - \phi) / 100$ per barre di diametro superiore
$f_{bd,0.95} = 5,90 \text{ N/mm}^2$	Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-calcestruzzo (resistenza cls corrispondente al frattile 95%) $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$
$f_{ctm} = 3,63 \text{ N/mm}^2$	Valor medio della resistenza a trazione per flessione $f_{ctm} = 1.2 * f_{ctm}$
$\sigma_{c,rara} = 19,2 \text{ N/mm}^2$	Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio per combinazione Rara $\sigma_{c,rara} \leq 0.60 * f_{ck}$
$\sigma_{c,perm} = 14,4 \text{ N/mm}^2$	Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio per combinazione Quasi Permanente $\sigma_{c,perm} \leq 0.45 * f_{ck}$

- Acciaio ordinario per elementi in c.a. ( $\gamma_m = 1,15$ ): **B450C**

PROPRIETA' MECCANICHE DELL'ACCIAIO	
$f_{y,nom} = 450 \text{ N/mm}^2$	Valore nominale della tensione di snervamento (frattile 5%)
$f_{t,nom} = 540 \text{ N/mm}^2$	Valore nominale della tensione di rottura (frattile 5%)
$f_{yk} \geq f_{y,nom}$	Tensione caratteristica di snervamento (frattile 5%)
$f_{tk} \geq f_{t,nom}$	Tensione caratteristica di rottura (frattile 5%)
$f_{yd} = 3913 \text{ daN/cm}^2$	Resistenza di calcolo dell'acciaio $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$
$\gamma_s = 1,50$	Coefficiente parziale di sicurezza
$E_s = 2000000 \text{ daN/cm}^2$	Modulo elastico (di Young) dell'acciaio
$1,15 \leq (f_t / f_{yk}) \leq 1,35$	Rapporti di duttilità (frattile 10%)
$(A_{gt})_k \geq 7,5\%$	Allungamento (frattile 10%)

## 4.2 Elementi in carpenteria metallica

Acciaio per carpenteria:

Materiale:

S275J0 per ambienti esterni

Tensione di rottura a trazione:

$f_t = 430 \text{ MPa}$

Tensione di snervamento:  $f_y = 275 \text{ MPa}$

Collegamenti bullonati:

Classe vite: 8.8

Tensione di rottura:  $f_{u,b} = 800 \text{ MPa}$

Tensione di snervamento:  $f_{y,b} = 640 \text{ MPa}$

modulo elastico  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$

modulo di elasticità trasversale  $G = E / [2 (1 + \nu)] \text{ N/mm}^2$

coefficiente di Poisson  $\nu = 0,3$

coefficiente di espansione termica lineare  $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C-1}$   
(per temperature fino a 100 °C)

Densità  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Le rispettive resistenze di calcolo saranno valutate di volta in volta a seconda della verifica trattata.

#### COEFFICIENTI DI SICUREZZA PER STRUTTURE IN ACCIAIO (NTC 18)

Coefficiente di sicurezza parziale per i materiali:

resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4  $\gamma_{M0} = 1.05$

resistenza all'instabilità delle membrature  $\gamma_{M1} = 1.05$

resistenza, rispetto alla frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)  $\gamma_{M2} = 1.25$

Coefficiente di sicurezza parziale per i collegamenti:

resistenza bulloni  $\gamma_{M2} = 1.25$

resistenza saldature a cordone d'angolo  $\gamma_{M2} = 1.25$

resistenza dei piatti a contatto  $\gamma_{M2} = 1.25$

### 4.3 Durabilità strutturale elementi in c.a.

#### 4.3.1 Classe di esposizione

La durabilità di un'opera dipende dalle condizioni ambientali e dalle azioni di tipo chimico-fisiche che possono interessarne gli elementi strutturali nell'arco della vita utile della struttura. Tali azioni, non prese in conto nell'analisi strutturale, richiedono un'opportuna scelta del materiale strutturale ed adeguate disposizioni costruttive.

Il requisito di durabilità si ritiene soddisfatto quando la struttura, per il periodo di vita previsto, è in grado di assolvere le sue funzioni senza limitazioni d'uso essendo soggetta solo a manutenzione ordinaria.

Per ottenere strutture durabili la EN 206-1:2001 (indicata esplicitamente dalle NTC18) richiede che siano soddisfatti i seguenti criteri per i componenti realizzati in c.a.:

- classificazione degli elementi strutturali in idonee classi di esposizione;

- impiego di calcestruzzo di adeguata composizione;
- protezione dell'armatura metallica

Le condizioni ambientali prevalenti degli elementi strutturali e le tipologie di calcestruzzi sono riportate nelle seguenti tabelle:

#### - Calcestruzzo fondazione

CLASSI DI ESPOSIZIONE (UNI-EN 206-1:2006)						
Ambiente	classe di esposizione	Min Classe di Resistenza	Max rapporto a/c	Min contenuto di aria [%]	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Condizioni ambientali
Assenza di rischio di corrosione o attacco	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da carbonatazione	XC2	C25/30	0.6	-	280	Ordinarie
Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti	-	-	-	-	-	-
Attacco chimico	-	-	-	-	-	-

#### - Calcestruzzo elevazione

CLASSI DI ESPOSIZIONE (UNI-EN 206-1:2006)						
Ambiente	classe di esposizione	Min Classe di Resistenza	Max rapporto a/c	Min contenuto di aria [%]	Dosaggio minimo cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	Condizioni ambientali
Assenza di rischio di corrosione o attacco	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da carbonatazione	XC4	C32/40	0.5	-	340	Aggressive
Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	-	-	-	-	-	-
Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti	-	-	-	-	-	-
Attacco chimico	-	-	-	-	-	-

#### 4.3.2 Copriferro

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella

tabella C4.1.IV della Circolare 2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

I valori della Tabella C4.1.IV si riferiscono a costruzioni con vita nominale di 50 anni (Tipo 2 secondo la Tabella 2.4.I delle NTC). Per costruzioni con vita nominale di 100 anni (Tipo 3 secondo la citata Tabella 2.4.I) i valori della Tabella C4.1.IV vanno aumentati di 10 mm

			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	C <sub>≥</sub> Co	C <sub>min</sub> ≤C<Co	C <sub>≥</sub> Co	C <sub>min</sub> ≤C<Co	C <sub>≥</sub> Co	C <sub>min</sub> ≤C<Co	C <sub>≥</sub> Co	C <sub>min</sub> ≤C<Co
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Ai valori riportati nella tabella vanno aggiunte le tolleranze di posa, pari a 10 mm.

Si riportano di seguito i copriferri adottati, determinati in funzione della classe del cls e delle condizioni ambientali.

	ambiente	Copriferro minimo	Tolleranza di posa	Vita Nominale	Copriferro nominale
Travi	Aggressivo	35	10	10	55
Pilastrì	Ordinario	25	10	10	45
Fondazioni	Ordinario	25	10	10	45

#### 4.3.2.1 Ampiezza massima delle fessure

##### Condizioni di aggressività per i vari tipi di opere e limiti di apertura delle fessure

Secondo le prescrizioni delle NTC 2018, Tab. 4.1.III.

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	XC0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

##### Condizioni di aggressività per opere di fondazione ed in elevazione

Per la classe XC2 delle fondazioni ricadiamo in **condizioni ordinarie**.

Per la classe XC3 delle elevazioni dei pilastrì ricadiamo in **condizioni ordinarie**.

In relazione al MdP “RFI DTC SI PS MA IFS 001 E” §2.5.1.8.3.2.4 avendo armature poco sensibili si ha:

Per le fondazioni:

Limite di apertura delle fessure per Combinazione di azioni rara

$$\delta \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

Per le elevazioni (pilastrì e travi):

Limite di apertura delle fessure per Combinazione di azioni rara

$$\delta \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo Tettoia metallica</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 CL</p>	<p>DOCUMENTO FV0400 005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 12 di 77</p>

#### 4.3.2.2 Valori limite delle tensioni

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- Per combinazione di carico caratteristica (rara): 0,55 fck;
- Per combinazioni di carico quasi permanente: 0,40 fck ;

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare 0,75 fyk.

#### **4.4 Durabilità elementi in carpenteria metallica**

La durabilità di una struttura in carpenteria metallica, deve assicurare il mantenimento nel tempo della geometria e delle caratteristiche dei materiali della struttura affinché questa conservi inalterata la sua funzionalità, aspetto estetico e resistenza.

Al fine di garantire tale persistenza, date le caratteristiche di esposizione della struttura (struttura posta all'esterno) e l'oggettiva difficoltà di manutenzione stante la posizione in quota, **i profilati metallici dovranno essere zincati a caldo secondo le procedure di cui alla UNI EN ISO 1461 e UNI EN ISO 1179.**

La struttura sarà pertanto del tipo "sicuramente protetta dalla corrosione".

Le unioni in cantiere potranno essere esclusivamente del tipo bullonato. Il direttore dei lavori potrà eventualmente autorizzare saldature in opera purchè siano presi tutti gli accorgimenti per garantire la riuscita dell'intervento e la sua protezione dalla corrosione.

## **5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO**

La stratigrafia dei terreni con i quali la struttura interagisce è stata determinata in base al profilo geotecnico di Pietra Ligure (documento L371 00 D26 F5 GE0005 003A) e alla relazione geotecnica della tratta Finale Ligure – Andora, relativa alle tratte all'aperto (documento L371 00 D26 RB GE0005 001A).

La zona della Stazione di Albenga si trova a ridosso delle due gallerie artificiali Bastia 1 e Bastia 2 che sono ubicate in corrispondenza di una zona ove il substrato conglomeratico pliocenico diventa affiorante. Le argille di Ortovero, eteropiche con CMV, sono segnalate dallo studio geologico del P.P., ma non sono state individuate da nessuno dei sondaggi eseguiti in corrispondenza delle due suddette gallerie. Materiali riconducibili alle argille di Ortovero (ORV) sono stati invece rinvenuti dai sondaggi BH50 e BH51. Tra le due gallerie si rinvengono prevalentemente terreni ghiaioso-sabbiosi di origine detritico alluvionale. I sondaggi della porzione occidentale non individuano il substrato litoide.

### **UNITÀ 1**

Suolo e materiali di riporto antropico (rilevati stradali ecc...) di spessore pari a circa 2.70 m

### **UNITÀ 2**

Ghiaia, ghiaia con sabbia e sabbia con ghiaia, a tratti limosa, di colore grigio e marrone chiaro, da moderatamente addensata a molto addensata. Sono presenti, a varie quote blocchi e ciottoli poligenici (calcare, arenaria, conglomerato) da angolari a sub-arrotondati.

Sabbie limose, sabbie con limo (localmente ghiaiose), di colore marrone e grigio, da moderatamente addensate ad addensate con inclusi clasti eterogenei di natura calcarea e arenacea da angolari a subarrotondati.

Lo spessore di questo strato nei sondaggi BH54 è pari a circa 12.70 m

### UNITÀ 3

Limi sabbiosi e limi con sabbia (localmente con ghiaia), di colore marrone, generalmente molto consistenti con inclusi clasti di natura arenacea.

### UNITÀ 4

Limo con argilla, limo argilloso, di colore nocciola e grigio, da moderatamente a estremamente consistente. Localmente è presente ghiaia da subangolare a subarrotondata.

### SUBSTRATO LITOIDE

ARGILLE DI ORTOVERO (ORV): alternanze stratificate di argille sabbiose e sabbie (Pliocene medio Inferiore)

CONGLOMERATI DI MONTE VILLA (CMV): conglomerati a ciottoli prevalentemente calcarei (Pliocene sup.-medio).

Parametri geotecnici medi operativi unità terre

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E'$ [MPa]	$\nu$	OCR
Unità 1	19.5	-	0	23÷28	10÷30	0.3	-
Unità 2	20.5	-	0÷10	28÷35	30÷50	0.3	-
Unità 3	20.0	50÷200	2÷20	25÷28	8÷20	0.3 (*)	3÷5
Unità 4	19.5	50÷150	5÷10	23÷26	10÷15	0.3 (*)	2÷4

(\*) in condizioni non drenate può essere assunto un valore pari a 0.5

La quota di imposta della fondazione del presente fabbricato risulta essere più alta della quota terreno naturale per circa 5,00 m, pertanto si provvederà ad uno scotico di almeno 50cm del terreno esistente e si provvederà ad un riempimento, fino a quota magrone, con un misto granulare stabilizzato a cemento ben compattato in modo da avere un modulo di deformabilità non inferiore a 40mpa.

tale valore dovrà essere verificato in opera con prove su piastra.

Le caratteristiche del terreno di fondazione, in ottemperanza alle istruzioni italferr 44g si possono assumere:

$$\phi = 38^\circ \quad \gamma = 20\text{KPa} \quad c' = 0 \quad E_d = 40 \text{ MPa}$$

## 6 ANALISI DEI CARICHI

Per le analisi dei carichi si è fatto riferimento al D.M. 17.01.2018.

### 6.1 Pesì propri

Il peso proprio delle strutture di elevazione in c.a. è imputato alla struttura direttamente dal programma di calcolo utilizzato assumendo un peso specifico per il cemento armato pari a 25.00 kN/m<sup>3</sup>.

## 6.2 Carichi permanenti portati

I carichi permanenti e variabili applicati alla struttura sono quelli dovuti a:

### Tettoia metallica (cat. H) – carico tipo 1

- Peso proprio orditure secondarie	0,10 kN/mq
- Peso proprio pannello superiore	0,20 kN/mq
- Peso proprio pannello inferiore	0,10 kN/mq
<b>TOTALE PESO PROPRIO</b>	<b>0,10 kN/mq</b>
<b>TOTALE PERMANENTI</b>	<b>0,30 kN/mq</b>

## 6.3 Azioni variabili

### 6.3.1 Azioni variabili verticali da destinazione d'uso

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>],
- carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN].
- carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m]

I valori nominali e/o caratteristici  $q_k$ ,  $Q_k$  ed  $H_k$  sono riportati nella Tab. 3.1.II della [3]. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture.

I carichi verticali concentrati  $Q_k$  formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti carichi verticali ripartiti; essi devono essere applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento.

Dal paragrafo 3.1.4 del D.M. '18, nel caso di specie si ha una sola tipologia di carico di esercizio:

- Solai di copertura

### Solai interni e copertura

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
<b>H</b>	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	<b>0.50</b>	1.20	1.00

### 6.3.2 Azioni variabili: vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti definite al § 3.3.3 delle NTC18.

#### VELOCITÀ BASE DI RIFERIMENTO

La velocità base di riferimento  $v_b$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito ad un periodo di ritorno  $T_R$  = 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche,  $v_b$  è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_r$$

$v_{b,0}$  è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tab. 3.3.I delle NTC18 in funzione della zona in cui sorge la costruzione;

$c_r$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_a \left( \frac{a_s}{a_0 - 1} \right) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500 \text{ m}$$

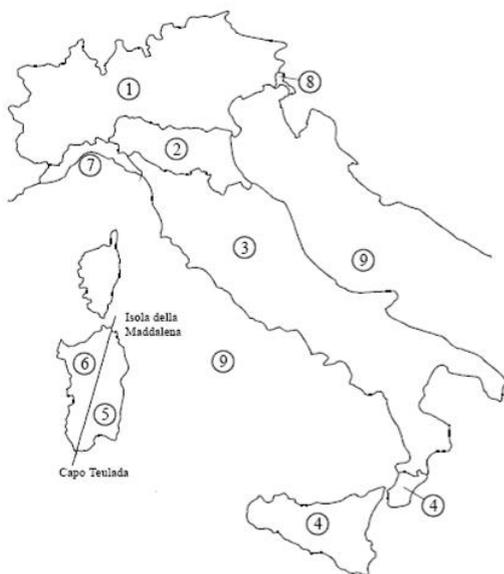
dove:

$a_0, k_s$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);

$a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}, a_0, k_s$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_s$
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32



**Figura 3.3.1 –** *Mapa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano*

### VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento  $v_r$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito al periodo di ritorno di progetto  $T_R$ . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_r$$

dove

$v_b$  è la velocità base di riferimento, di cui al § 3.3.1 delle NTC18;

$c_r$  è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto  $T_R$ .

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione:

$$c_r = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

dove  $T_R$  è il periodo di ritorno espresso in anni.

Si assumerà  $T_R = 75$  anni, cui corrisponde  $c_r = 1.04$ .

### AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

Le azioni del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

### PRESSIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

dove

$q_r$  è la pressione cinetica di riferimento;

$c_e$  è il coefficiente di esposizione;

$c_p$  è il coefficiente di pressione;

$c_d$  è il coefficiente dinamico.

### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  è data dall'espressione:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_r^2$$

dove

$v_r$  è la velocità di riferimento del vento;

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

Esprimendo  $\rho$  in kg/m<sup>3</sup> e  $v_r$  in m/s,  $q_r$  risulta espresso in N/m<sup>2</sup>.

### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z \leq z_{\min}$$

dove

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$K_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

La categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno definita in Tab. 3.3.III.

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

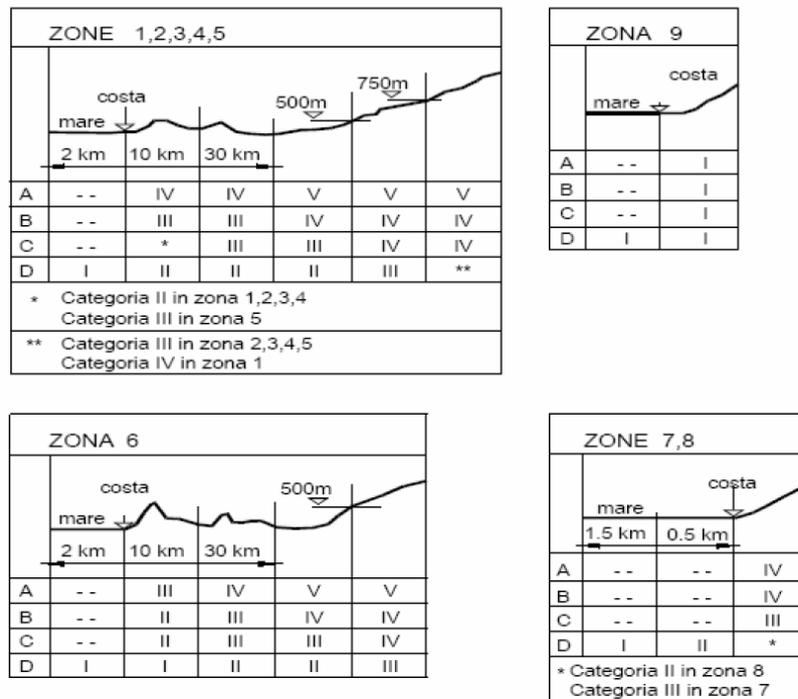


Fig. 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

**COEFFICIENTI AERODINAMICI**  
**COEFFICIENTI AERODINAMICI**

Il coefficiente di pressione  $c_p$  dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

Il coefficiente d'attrito  $c_f$  dipende dalla scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

Entrambi questi coefficienti, definiti coefficienti aerodinamici, possono essere ricavati da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento. In assenza di valutazioni più precise, suffragate da opportuna documentazione o prove sperimentali in galleria del vento, per i coefficienti di pressione si assumono i valori riportati ai punti seguenti, con l'avvertenza che si intendono positive le pressioni dirette verso l'interno delle costruzioni.

**TETTOIE A FALDA DOPPIA**

La Tabella C3.3.XVI e la relativa Figura C3.3.23 delle NTC2018 riportano i valori dei coefficienti di forza per le tettoie a doppia falda con vento agente perpendicolarmente alla linea di colmo. I valori dei coefficienti di forza sono espressi in funzione del grado di bloccaggio  $\varnothing$  e dell'inclinazione  $\alpha$  delle falde. La quota di riferimento  $z_e$  è pafri all'altezza massima della tettoia.

Si definisce grado di bloccaggio il rapporto tra l'area esposta al vento di una eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia. Identificandosi due situazioni limite:

- $\varnothing=0$  assenza di ostruzioni al di sotto della tettoia (tettoia libera)
- $\varnothing=1$  spazio al di sotto della tettoia completamente ostruito

Nel caso di specie si assume  $\varnothing=0$

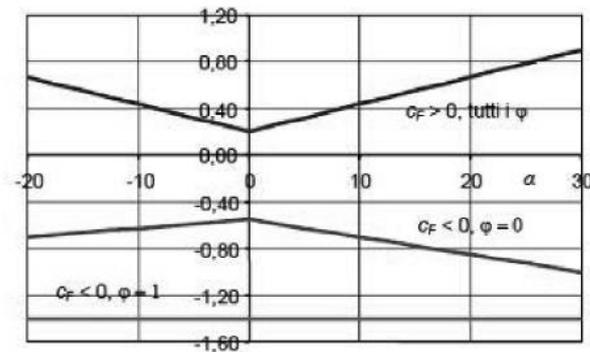


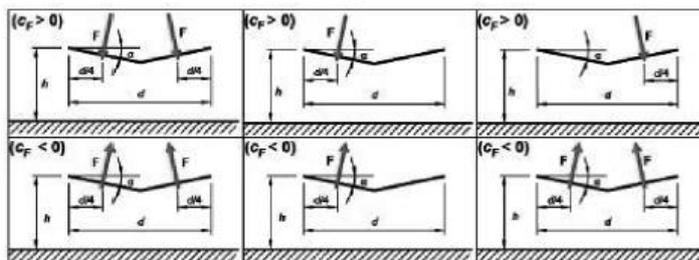
Figura C3.3.23 - Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a falda doppia

Tabella C3.3.XVI - Coefficienti di forza per tettoie a doppia falda ( $\alpha$  in  $^\circ$ ).

Valori positivi	Tutti i valori di $\varphi$	$c_F = +0,2 + 0,7 \cdot  \alpha /30$	
Valori negativi	$\varphi = 0$	$\alpha \leq 0^\circ$	$c_F = -0,5 + 0,1 \cdot \alpha/10$
	$\varphi = 1$	$\alpha \geq 0^\circ$	$c_F = -0,5 - 0,2 \cdot \alpha/10$
		tutti i valori di $\alpha$	$c_F = -1,4$

Per il calcolo della tettoia si considerano le condizioni di carico più gravose tra quelle indicate nella Figura C3.3.24 delle NTC2018, dove la forza unitaria di superficie  $F = q_p(z)c_F$  è considerata agente simultaneamente su entrambe le falde oppure soltanto su una di esse. Ciascuna falda delle tettoie a doppia

falda con vento agente parallelamente alla linea di colmo può essere analizzata, in prima approssimazione, come una tettoia piana a semplice falda ( $\alpha=0$ ).



(b)

In base a quanto detto qui sopra **nel caso di specie** si ha:

$$v_{b,0} = 28 \text{ m/s} \quad \text{per } a_s = 15 \text{ m} < a_0 = 1000 \text{ m}$$

$$c_a = 1.00$$

$$c_r = 1.04$$

$$v_r = v_b \cdot c_r = 29.12 \text{ m/s}$$

$$q_b = 526.7 \text{ N/m}^2$$

$c_e$  coefficiente di esposizione, funzione dell'altezza  $z$  del fabbricato, della rugosità e topografia del terreno e dell'esposizione del sito mediante la relazione

$$c_e(z) = k_r^2 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z > z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z \leq z_{\min}$$

essendo  $c_t$  il coefficiente di topografia posto pari ad 1.

Per l'edificio in oggetto si ha:

Zona di Vento: I

Classe di rugosità B

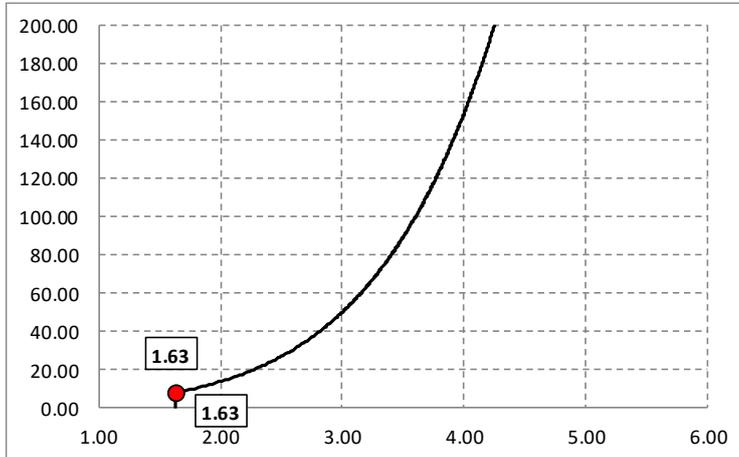
Categoria di esposizione IV

$k_r = 0.22$

$z_0 = 0.30 \text{ m}$

$z_{\min} = 8 \text{ m}$

L'altezza massima dal suolo della tettoia è pari a pari a circa  $z = 3.51 < z_{\min}$  per cui il coefficiente di esposizione  $c_e$  assume il valore costante pari a  $c_e = 1.63$ .



La tettoia ha pendenza  $\alpha=0^\circ$ . Si considera la sola condizione di vento agente in pressione sulla copertura per cui si ha:

Vento in pressione  $c_F = 0.20$

L'azione del vento si traduce quindi in un carico verticale di intensità:

$$Q_d = 0.20 \times 1.63 \times 526.7 = 171.7 \text{ N/m}^2$$

### 6.3.3 Azioni variabili: neve

Le azioni della neve sono definite al capitolo 3.4 delle NTC2018. Il carico provocato dalla neve sulle coperture è definito dall'espressione seguente:

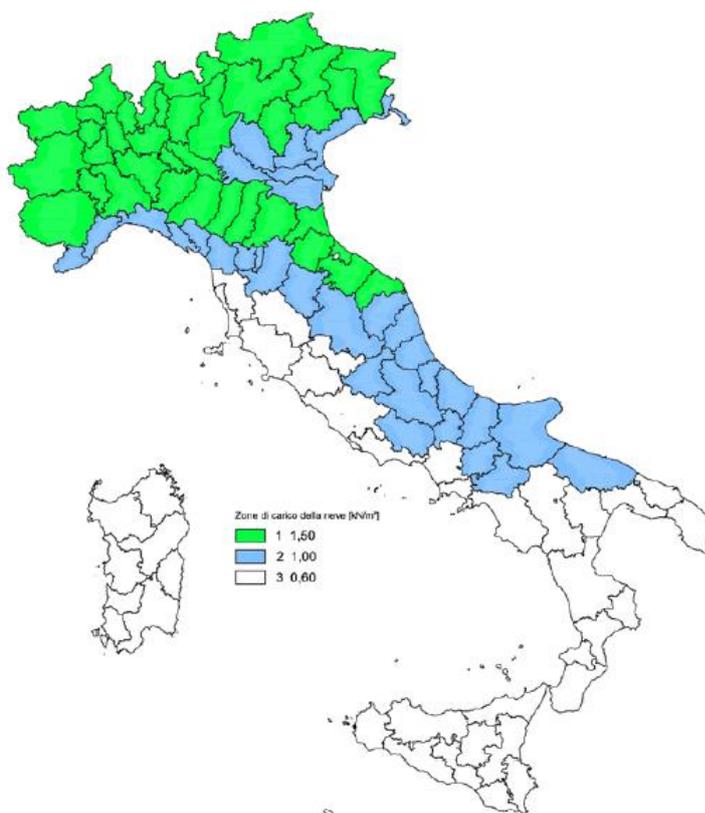
$$\text{Carico da neve sulla copertura} = q_s = \mu_i C_e C_t q_{sk}$$

dove:

- $\mu_i$  - Coefficiente di forma della copertura;
- $C_e$  - Coefficiente di esposizione;
- $C_t$  - Coefficiente termico;
- $q_{sk}$  - Valore di riferimento del carico neve al suolo.

L'altitudine di riferimento  $a_s$  è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio. Il carico neve al suolo viene valutato, per provincia e per altitudini minori di 1500 m, in base alle espressioni nel seguito riportate, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

Nel caso in esame fa' riferimento ad un sito in Zona II a 30 m s.l.m.



**Valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo per un periodo di riferimento di 75 anni:**

$$q_{sk}(75) = 1,075 \text{ kN/m}^2$$

In relazione alla vita utile dell'edificio

Il valore sopra è suscettibile di correzioni secondo i coefficienti descritti nel seguito.

### Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione  $C_e$  può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in tabella 3.4.I. NTC2018.

**Tabella 3.4.I** – Valori di  $C_e$  per diverse classi di topografia

Topografia	Descrizione	$C_e$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Per il caso in esame, si assume  $C_e = 1.0$ .

### Coefficiente termico

Il coefficiente termico  $C_t$  può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1.0$  (3.4.4 - NTC2018).

### Coefficiente di forma per le coperture

I valori del coefficiente di forma  $\mu$ , riportati in Tab. 3.4.I si riferiscono alle coperture ad una o due falde al variare dell'angolo  $\alpha$ .

Tabella C3.4.I - Coefficienti di forma per il carico neve

Angolo di inclinazione della falda $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
$\mu_2$	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

Nel caso di specie avendo una copertura piana ( $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ ) risulta:  $\mu_1 = 0.8$

### Carico da neve

Il carico neve sulla copertura assume pertanto il seguente valore:

$$q_s = \mu_1 C_e C_t q_{sk} = 0.8 \cdot 1.00 \cdot 1.000 \cdot 1.075 = \underline{\underline{0.86 \text{ kN/m}^2}}$$

#### 6.3.4 Azioni variabili: temperatura

Poiché l'azione della temperatura non costituisce azione fondamentale ai fini della sicurezza e dell'efficienza strutturale, la norma consente di tener conto della sola componente  $\Delta T_u$ .

Essendo la struttura del tipo in acciaio esposta si assume una variazione uniforme di temperatura sul manufatto pari a  $\Delta T = \pm 25^\circ$ .

#### 6.3.5 Azione imperfezioni per analisi globale

Le imperfezioni nel sistema globale sono state introdotte tramite delle imperfezioni geometriche equivalenti in accordo al §5.3 dell'EN 1993-1-1. L'effetto delle imperfezioni è stato considerato nel modello FEM tramite una matrice di imperfezione laterale iniziale in accordo al §5.3.2(3) dell'EN 1993-1-1.

Queste imperfezioni sono state inserite nel modello di calcolo agli elementi finiti ovvero tramite delle forze iniziali orizzontali equivalenti derivanti dalle suddette imperfezioni laterali.

### 6.3.6 Azione sismica

#### 6.3.6.1 Vita nominale e classe d'uso

La vita nominale delle strutture oggetto della presente nota di calcolo, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, è assunto pari a:

$$V_N = 75$$

La classe d'uso della costruzione è invece assunta pari a:

Classe III: Costruzioni suscettibili di affollamento.

#### 6.3.6.2 Individuazione della zona sismica

Il sito dove sorgerà la costruzione si trova alle coordinate 44°.0552702 N – 8°.1670311 E



**Figura 3**

#### 6.3.6.3 Classificazione della tipologia di suolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto la Normativa tecnica definisce diverse categorie di profilo stratigrafico di suolo di fondazione. Le indagini conoscitive sul terreno, definiscono l'appartenenza del suolo alla **categoria di tipo C** (depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argilla di media consistenza con spessori di diverse decine di metri). Data l'orografia dell'area vasta è possibile assumere un coefficiente di condizione **topografia T2**: pendii con inclinazione media:  $i > 15^\circ$ .

#### 6.3.6.4 Spettri di risposta elastici

Lo spettro di risposta elastico  $S_e(T)$  è caratterizzato dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Con

$S$  coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione:

$$S = S_S \cdot S_T$$

essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica di cui alla tabella seguente ed  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografia;

Categoria di sottosuolo	$S_S$	$C_C$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,33}$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera	$S_T$
T <sub>2</sub>	-	1,2

$\eta$  fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$$

nella fattispecie  $\xi = 5\%$ .

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

$$T_C = C_C T^*_C$$

dove  $T^*_C$  è funzione del sito dove sorgerà l'opera e  $C_C$  è determinato dalla tabella precedente

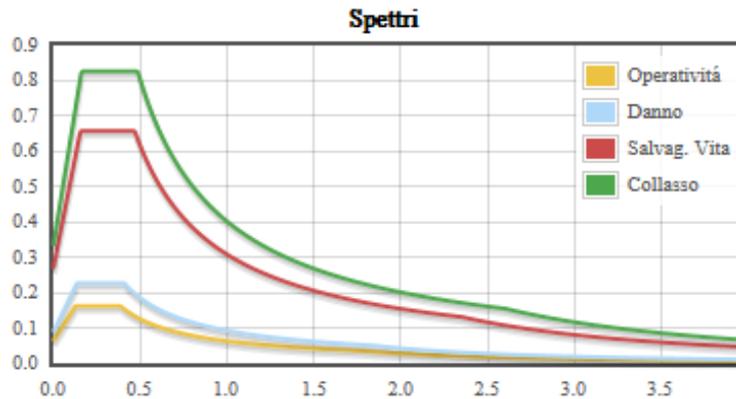
$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:

$$T_B = T_C / 3$$

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro:

$$T_D = 4,0 \frac{a_g}{g} + 1,6$$

Note le coordinate geografiche del sito ed assunta la condizione topografica, i diagrammi degli spettri elastici per il sito risultano i seguenti.



**Parametri di Pericolosità Sismica**

<i>Stato Limite</i>	$T_r$	$a_g=A_g/g$	$F_o$	$T^*$
<i>Operatività (SLO)</i>	68	0.042	2.573	0.225
<i>Danno (SLD)</i>	113	0.059	2.561	0.244
<i>Salvag. Vita (SLV)</i>	1068	0.188	2.461	0.3
<i>Collasso (SLC)</i>	2193	0.251	2.484	0.317

#### 6.3.6.5 Classe di duttilità e coefficiente di comportamento

Le strutture vengono verificate mediante una analisi dinamica classica con spettro di risposta scalato per il fattore di struttura  $q$ . Le strutture vengono progettate come **NON STRUTTURE DISSIPATIVE**.

Il coefficiente di comportamento o fattore di struttura “ $q_{ND}$ ” è quindi assunto pari a:

$$1 \leq q_{ND} \leq 1.50$$

La struttura presenta un comportamento “a pendolo inverso” pertanto in applicazione della formula 7.3.2 della **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** il fattore di struttura da assumere è quindi pari a:

$$q = 2/3 q_{ND}^{“B”} = 2/3 \times 2.00 = 1.333$$

Si assume quindi

$$q = 1.333$$

**in entrambe le direzioni.**

### 6.3.7 Spettro di progetto per lo SLU

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare è lo spettro elastico di cui al par. 6.3.6.4 con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule  $\eta$  con  $\eta/q$  dove  $q$  è il fattore di struttura definito nel paragrafo precedente:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right); \quad S_d(T) \geq \beta \cdot a_g$$

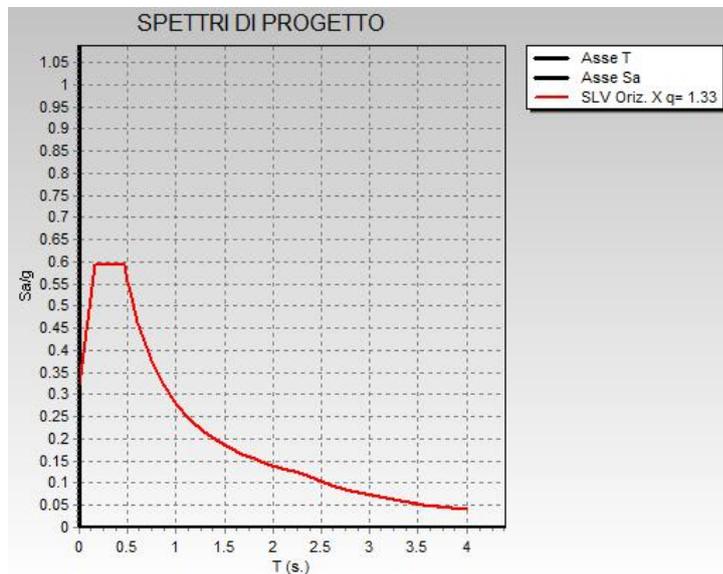
$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{1}{q} \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right); \quad S_d(T) \geq \beta \cdot a_g$$

dove

$q$  è il coefficiente di comportamento  $q = 1.333$  in direzione X e in direzione Y.

$\beta$  è il valore limite inferiore del coefficiente per lo spettro orizzontale di progetto  $\beta = 0,2$

Il diagramma dello spettro di progetto risultante è riportato nella figura seguente:

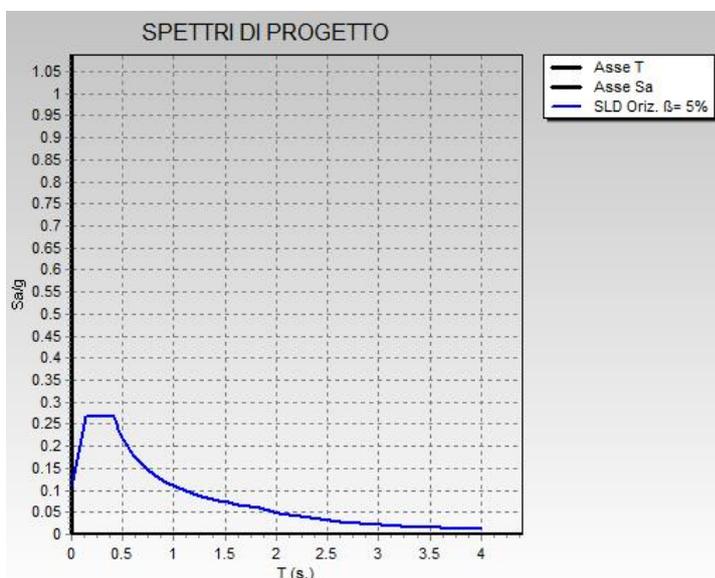


**Figura 4: spettro SLV**

### 6.3.8 Spettro di progetto per lo Stato limite di Danno

Essendo la struttura in classe d'uso III lo stato limite di danno si verifica in resistenza determinando le sollecitazioni sotto l'azione di un terremoto con periodo di ritorno più basso rispetto a quello distruttivo.

Il diagramma dello spettro di progetto orizzontale e verticale risultante è riportato nella figura seguente:



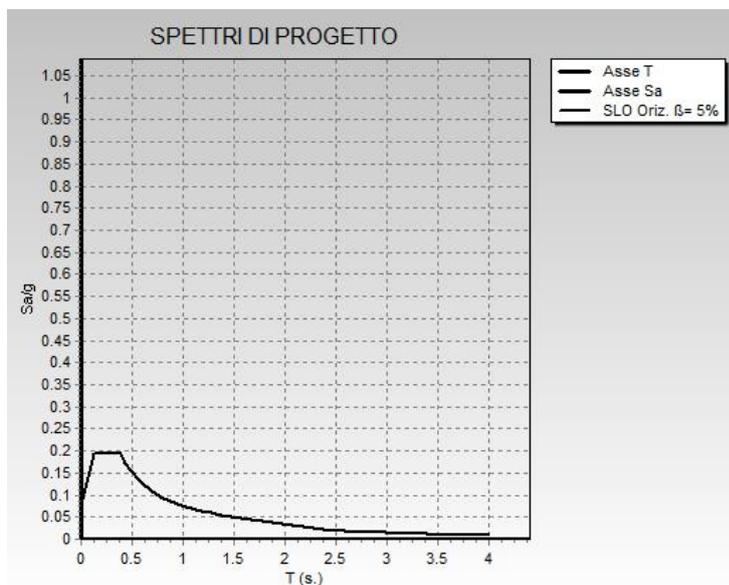
**Figura 5: spettro SLD**

### 6.3.9 Spettro di progetto per lo Stato limite di Operatività

Poiché la struttura è di classe d'uso III è necessario eseguire verifiche allo SLO.

Lo stato limite di operatività si verifica imponendo che lo spostamento strutturale di interpiano sia contenuto entro limiti prestabiliti sotto l'azione di un terremoto con periodo di ritorno più basso rispetto a quello distruttivo in modo da non subire danni o interruzioni di servizio. Data la natura dei tamponamenti si assume che tale spostamento di interpiano debba essere inferiore allo 0,33% calcolato facendo riferimento allo spettro di risposta allo SLD (variando quindi i parametri  $ag$ ,  $T_r$ ,  $F_0$ ,  $T^*C$ ).

Il diagramma dello spettro di progetto risultante è riportato nella figura seguente:



**Figura 6: spettro SLO**

## 7 COMBINAZIONI DI CALCOLO

Il progetto e la verifica di tutti gli elementi strutturali verrà eseguito mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite. Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), le condizioni elementari di carico vengono tra loro combinate in modo da determinare le sollecitazioni più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico che verranno considerate nel calcolo delle sollecitazioni rispettano le prescrizioni fornite dalle NTC 2018,

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (2.5.3 – NTC2018).

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (frequente), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (quasi permanente), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine (SLE):

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

Combinazione sismica impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

Dove:

- Azioni Permanenti (G);
- Azioni Variabili (Q);
- Azioni di Precompressione (P);
- Azioni Eccezionali (A);
- Azioni Sismiche (E);

I valori dei coefficienti che tengono conto della non contemporaneità dei massimi valori delle azioni sono dati dalla Tab. 2.5.I:

Categoria/Azione variabile	$\psi_{01}$	$\psi_{1i}$	$\psi_{2i}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono dati in § 2.6.1, Tab. 2.6.I:

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR.	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

## 7.1 Combinazioni geotecniche

Relativamente alle combinazioni per le verifiche geotecniche si fa riferimento al punto 6.2.3.1.1 delle NTC 2018 che riportano la seguente tabella:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2$ <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Per le opere di fondazione superficiali devono essere effettuate le verifiche almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno

- collasso per scorrimento sul piano di posa
- stabilità globale

SLU di tipo strutturale (STR)

- Raggiungimento della resistenza ultima negli elementi strutturali

Le verifiche geotecniche devono essere eseguite seguendo uno dei 2 approcci elencati nel seguito, utilizzando i coefficienti parziali riportati nella tabella sotto:

Approccio 1:

- Combinazione 1 (A1+M1+R1)
- Combinazione 2 (A2+M2+R2)

Approccio 2:

- Combinazione 1 (A1+M1+R3)

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Vengono riportate nel seguito le tabelle che mostrano tutte le combinazioni di carico per i vari stati limite considerati, con le quali è stata eseguita l'analisi delle sollecitazioni.

## 7.2 Elenco combinazioni di carico

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

Le combinazioni considerate ai fini del progetto tengono infatti in conto le azioni derivanti dai pesi propri, dai carichi permanenti, dalle azioni variabili e dalle azioni sismiche combinate utilizzando i coefficienti parziali previsti dal DM2018 per le prestazioni di SLU.

COMBINAZIONI CARICHI A1 - S.L.V. / S.L.D.															
DESCRIZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Peso Strutturale	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.75	1.50	0.75	1.50	0.75	0.75	1.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Var.Coperture	1.50	0.00	1.50	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
vento in pressione	1.50	0.90	1.50	0.90	0.90	1.50	0.90	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 90	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	-1.00	1.00
Carico termico	0.00	0.00	0.90	0.90	1.50	-0.90	-0.90	-1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	0.30	0.30	-0.30
Sisma direz. grd 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30	1.00	-1.00	1.00

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo Tettoia metallica**

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FV0400 005      REV. A      FOGLIO 32 di 77

**COMBINAZIONI CARICHI A1 - S.L.V. / S.L.D.**

DESCRIZIONI	16
Peso Strutturale	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00
Var.Neve h<=1000	0.00
Var.Coperture	0.00
vento in pressione	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 0	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 90	-1.00
Carico termico	0.00
Sisma direz. grd 0	-0.30
Sisma direz. grd 90	-1.00

**COMBINAZIONI RARE - S.L.E.**

DESCRIZIONI	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50
Var.Coperture	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00
vento in pressione	1.00	0.60	1.00	0.60	0.60	1.00	0.60	0.60
Eff.Imperfez.Dir. 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Carico termico	0.00	0.00	0.60	0.60	1.00	-0.60	-0.60	-1.00
Sisma direz. grd 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI - S.L.E.**

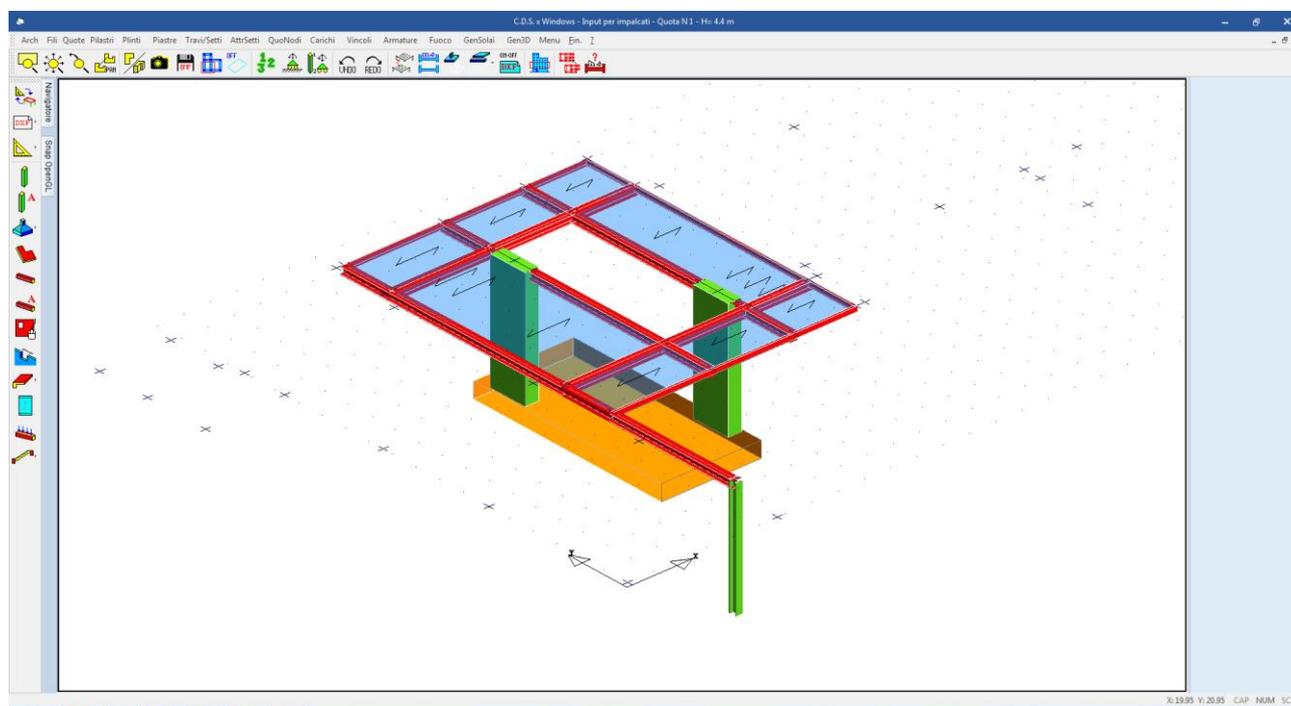
DESCRIZIONI	1	2	3	4
Peso Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00	1.00	1.00	1.00
Var.Neve h<=1000	0.00	0.20	0.00	0.00
Var.Coperture	0.00	0.00	0.00	0.00
vento in pressione	0.20	0.00	0.00	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 0	0.00	0.00	0.00	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 90	0.00	0.00	0.00	0.00
Carico termico	0.00	0.00	0.50	-0.50
Sisma direz. grd 0	0.00	0.00	0.00	0.00
Sisma direz. grd 90	0.00	0.00	0.00	0.00

**COMBINAZIONI PERMANENTI - S.L.E.**

DESCRIZIONI	1
Peso Strutturale	1.00
Perm.Non Strutturale	1.00
Var.Neve h<=1000	0.00
Var.Coperture	0.00
vento in pressione	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 0	0.00
Eff.Imperfez.Dir. 90	0.00
Carico termico	0.00
Sisma direz. grd 0	0.00
Sisma direz. grd 90	0.00

## 8 MODELLO DI CALCOLO ED ANALISI STRUTTURALE

L'analisi strutturale è condotta mediante il programma agli elementi finiti CDS Win 2021. I pilastri, le travi in elevazione sono modellate mediante elementi beam, che uniscono due nodi aventi ciascuno 6 gradi di libertà. Per maggiore precisione di calcolo, viene tenuta in conto anche la deformabilità a taglio e quella assiale di questi elementi.



**Figura 7: modello strutturale**

L'interazione tra terreno di fondazione e struttura è modellata mediante una piastra su suolo elastico (piastra alla Winkler). La costante di sottofondo  $K$  adottata nel calcolo, è supposta costante con la profondità, e valutata secondo la relazione di Bowles:

$$K_s = E / [ B \times (1 - \mu^2) ]$$

Con:

$$E = 40000 \text{ KN/m}^2$$

$$B = 4.00 \text{ m}$$

$$\mu = 0,3$$

Si ha:

$$K_s = E / [ B \times (1 - \mu^2) ] = 40000 / [ 4.0 \times (1 - 0,3^2) ] = 10989 \text{ KN/m}^3$$

modulo terreno

larghezza trave (3.80)+magrone(0,2)

Coefficiente di Poisson del suolo

L'analisi sismica dinamica è stata svolta con il metodo dell'analisi modale con masse concentrate nei nodi del modello strutturale; la ricerca dei modi e delle relative frequenze è stata perseguita con il metodo di Cholesky.

I modi di vibrare considerati sono in numero tale da assicurare l'eccitazione di più dell' 85% della massa totale della struttura.

Per le aste in c.a. è stata considerata una percentuale ridotta di rigidità flessionale delle aste. Ciò permette di tenere in conto del fatto che, a causa della fessurazione del calcestruzzo, la rigidità flessionale delle aste, ai fini della risoluzione in fase elastica della struttura tridimensionale, può essere ridotta. Il valore assegnato è il 70%.

I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinati linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b></p>					
<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>Relazione di calcolo Tettoia metallica</b></p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 CL</p>	<p>DOCUMENTO FV0400 005</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 34 di 77</p>

Le caratteristiche di sollecitazione massime su ogni elemento si ottengono involupando tutte le condizioni di carico prese in considerazione.

### 8.1.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Per l'analisi delle strutture è stato utilizzato il software **CDSWIN** © versione **2021** della **STS Software Tecnico Scientifico**, numero di licenza **32896**, distribuito da **Kipendoff Engineering** via Pietro Sommariva, 50 - 00195 Roma.

La documentazione fornita dal produttore e dal distributore del software circa l'affidabilità, la validazione ed i casi di prova interamente risolti e commentati con files di input che consentano la riproduzione dell'elaborazione sono disponibili al sito [www.stsweb.it](http://www.stsweb.it).

Come previsto al punto 10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 17.01.2018 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

La S.T.S. s.r.l. a riprova dell'affidabilità dei risultati ottenuti fornisce direttamente on-line i test sui casi prova (<http://www.stsweb.it/STSWeb/ITA/homepage.htm>)

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

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

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate.
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento.
- Controlli sulla verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.
- Controlli e verifiche sugli esecutivi prodotti.

### 8.1.2 Affidabilità del codice di calcolo

Per quanto riguarda il software utilizzato per l'analisi strutturale, un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software **CDSWin** ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

## 8.2 Criteri di modellazione delle masse strutturali

Nella fase di analisi dinamica le masse strutturali sono state considerate concentrate nei nodi del modello.

Nella valutazione delle masse si è tenuta in conto della presenza di carichi variabili. La normativa consente di considerare solamente una aliquota dei carichi variabili massimi per tener conto della scarsa probabilità che si verifichino contemporaneamente l'evento sismico e i massimi valori dei carichi variabili su tutta la struttura. Tali aliquote sono differenti in relazione alla destinazione d'uso dei singoli ambienti all'interno

della struttura. Gli effetti inerziali dell'azione sismica di progetto sono valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali che compaiono nella seguente combinazione di azioni:

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

dove

$\psi_{2j}$  E' il coefficiente di combinazione dell'azione variabile  $Q_{kj}$  che tiene conto della probabilità che tutti i carichi  $Q_{kj}$  non agiscano contemporaneamente sull'intera struttura in occasione del sisma, i valori assunti da tale coefficiente in relazione alle categorie di carico sono riportate nella tabella 2.5.I della [3] in funzione dell'analisi dei carichi di cui ai paragrafi che precedono

**Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

### 8.3 Calcolo delle azioni interne e degli spostamenti

#### 8.3.1 Analisi dinamica modale con spettro di risposta di progetto

L'analisi dinamica modale associata allo spettro di risposta di progetto, che costituisce il metodo normale per la definizione delle sollecitazioni di progetto e degli spostamenti, viene applicata al modello tridimensionale della struttura. In questo tipo di analisi viene tenuta in conto la risposta di tutti i modi di vibrare della struttura che contribuiscano in modo significativo alla risposta globale, soddisfacendo una delle seguenti condizioni:

- la somma delle masse modali effettive per i modi considerati rappresenta almeno il 85% della massa totale della struttura;
- sono presi in considerazione tutti i modi caratterizzati da una massa modale effettiva maggiore del 5% della massa totale.

Avendo utilizzato un modello spaziale, le condizioni risultano verificate per ogni direzione principale.

### 8.3.2 Combinazione delle riposte modali

Ottenuta la massima risposta dei modi di vibrare occorre combinare i massimi modali poiché tali massimi non si verificano nello stesso istante.

La tecnica adottata è quella della "combinazione quadratica completa" (CQC):

$$E = \left( \sum_i \sum_j \rho_{i,j} E_i E_j \right)^{\frac{1}{2}}$$

Dove:

- E è il valore totale della componente di risposta sismica che si sta considerando;
- $E_i$  è il valore della medesima componente dovuta al modo  $i$ ;
- $E_j$  è il valore della medesima componente dovuta al modo  $j$ ;
- $\rho_{i,j}$  è il coefficiente di correlazione tra il modo  $i$  e il modo  $j$ .

$$\rho_{i,j} = \frac{8\xi^2 \cdot (1 + \beta_{i,j}) \cdot \beta_{i,j}^{3/2}}{(1 - \beta_{i,j}^2) + 4\xi^2 \cdot \beta_{i,j} \cdot (1 - \beta_{i,j}^2)}$$

Con:

- $\xi$  coefficiente di smorzamento equivalente;
- $\beta_{i,j} = \omega_i/\omega_j$  rapporto fra le frequenze di ciascuna coppia di modi  $i$  e  $j$ .

### 8.3.3 Combinazione degli effetti delle componenti dell'azione sismica

La risposta alle diverse componenti dell'azione sismica ed alla variabilità spaziale del moto della struttura, viene calcolata separatamente per ciascuna delle due direzioni principali in pianta. Gli effetti sulla struttura di tali azioni sono stati valutati mediante le seguenti combinazioni:

$$E_{Edx} + 0,30 E_{Edy}$$

$$0,30 E_{Edx} + E_{Edy}$$

Dove:

- “+” significa "deve essere combinato con";
- $E_{Edx}$  rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione dell'azione sismica lungo l'asse orizzontale  $x$  della struttura;
- $E_{Edy}$  rappresenta gli effetti dell'azione dovuti all'applicazione della medesima azione sismica lungo l'asse orizzontale ortogonale  $y$  della struttura.

## 9 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

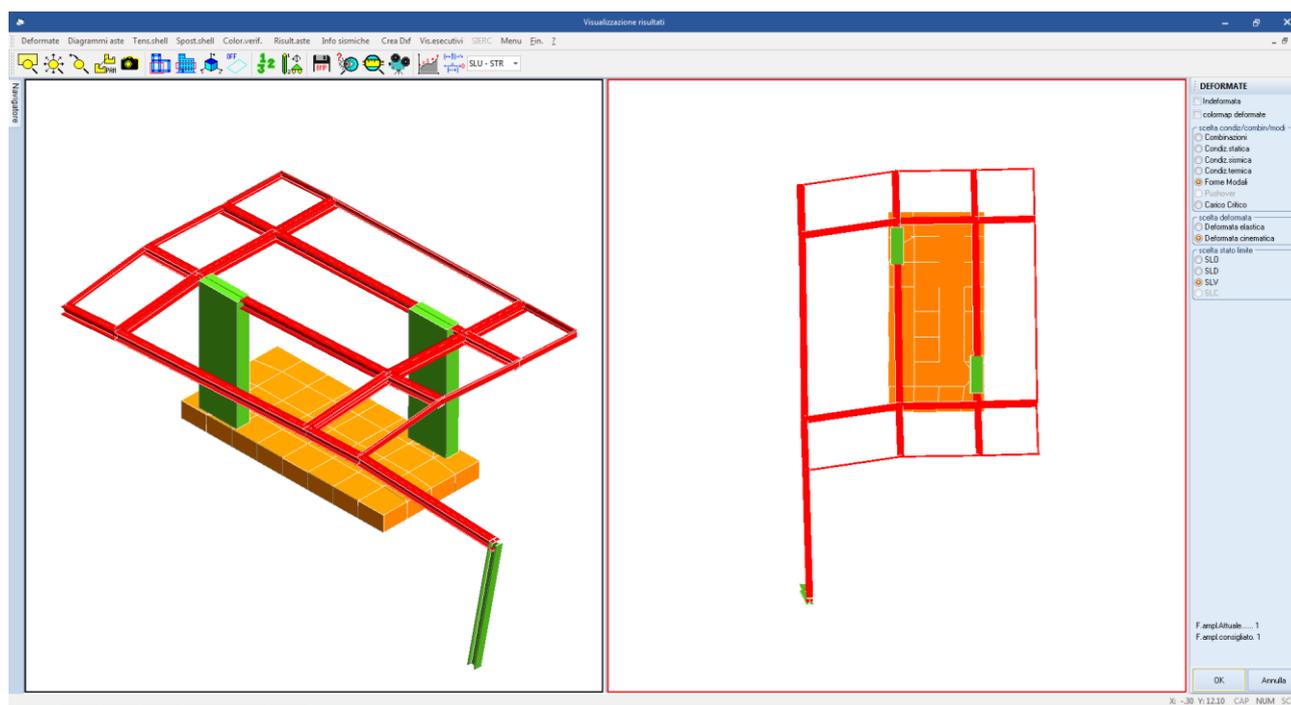
### 9.1 Risultati dell'analisi modale

L'analisi modale viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo che fornisce i valori dei periodi propri  $T_i$  e le deformate modali. Nella tabella seguente sono riportati i valori dei periodi propri per i vari tipi di spettri di progetto per i primi modi di vibrare.

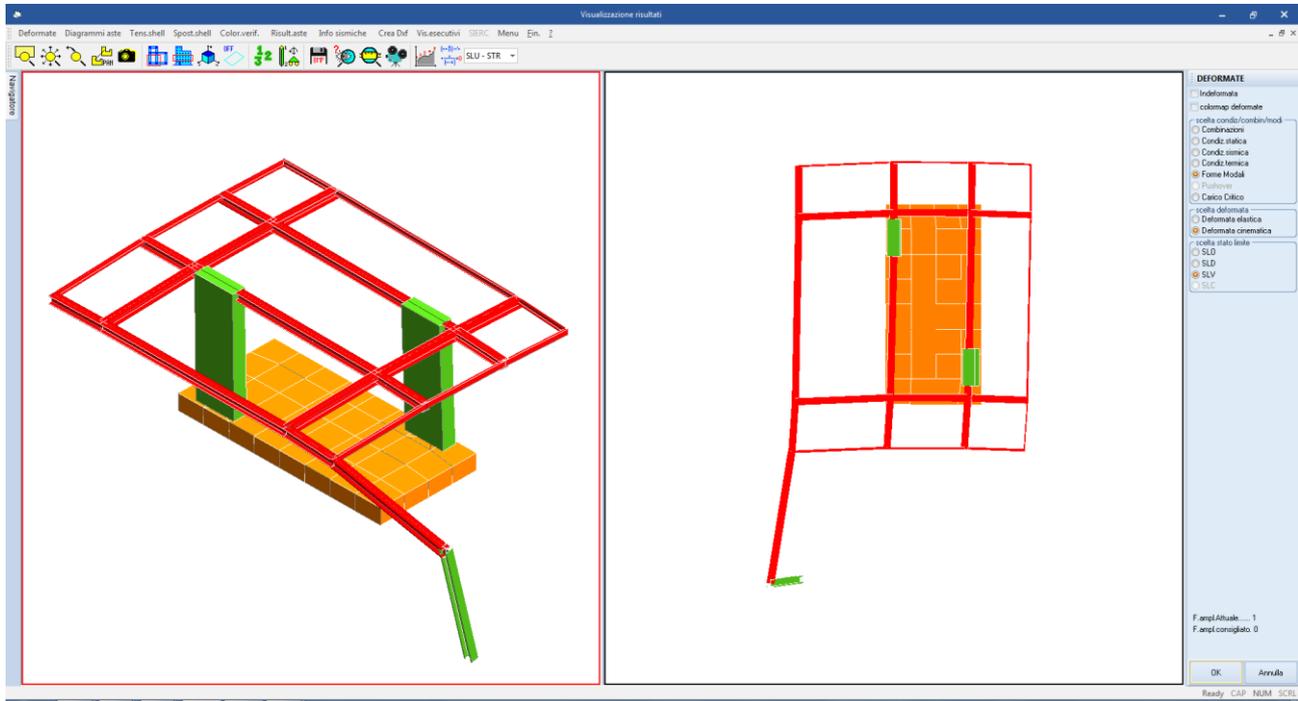
**FREQUENZE E MASSE ECCITATE**

Modo N.ro	Pulsazione (rad/sec)	Periodo (sec)	Smorz Mod(%)	Sd/g SLO	Sd/g SLD	Sd/g SLV X	Sd/g SLV Y	Sd/g SLV Z	Sd/g SLC	SISMA N.ro 1		SISMA N.ro 2		SISMA N.ro 3	
										Massa 15.05	Perc. 99.99	Massa 15.05	Perc. 99.98	Massa	Perc.
										Massa Mod Ecc. (t)	Perc.	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.	Massa Mod Ecc. (t)	Perc.
1	41.864	0.15009	5.0	0.195	0.267	0.582	0.582			0.01	0	2.32	15		
2	48.204	0.13035	5.0	0.195	0.260	0.547	0.547			1.97	13	0.90	6		
3	51.190	0.12274	5.0	0.189	0.251	0.534	0.534			9.45	63	0.45	3		
4	53.959	0.11644	5.0	0.183	0.243	0.523	0.523			2.94	20	0.13	1		
5	57.506	0.10926	5.0	0.176	0.235	0.511	0.511			0.00	0	0.64	4		
6	94.955	0.06617	5.0	0.137	0.183	0.436	0.436			0.60	4	0.27	2		
7	101.196	0.06209	5.0	0.133	0.178	0.429	0.429			0.06	0	5.08	34		
8	107.596	0.05840	5.0	0.129	0.174	0.422	0.422			0.00	0	4.13	27		
9	118.579	0.05299	5.0	0.124	0.168	0.413	0.413			0.00	0	1.12	7		
10	250.131	0.02512	5.0	0.099	0.134	0.364	0.364			0.01	0	0.00	0		
11	297.150	0.02114	5.0	0.095	0.130	0.358	0.358			0.01	0	0.00	0		
12	588.204	0.01068	5.0	0.085	0.117	0.339	0.339			0.00	0	0.00	0		

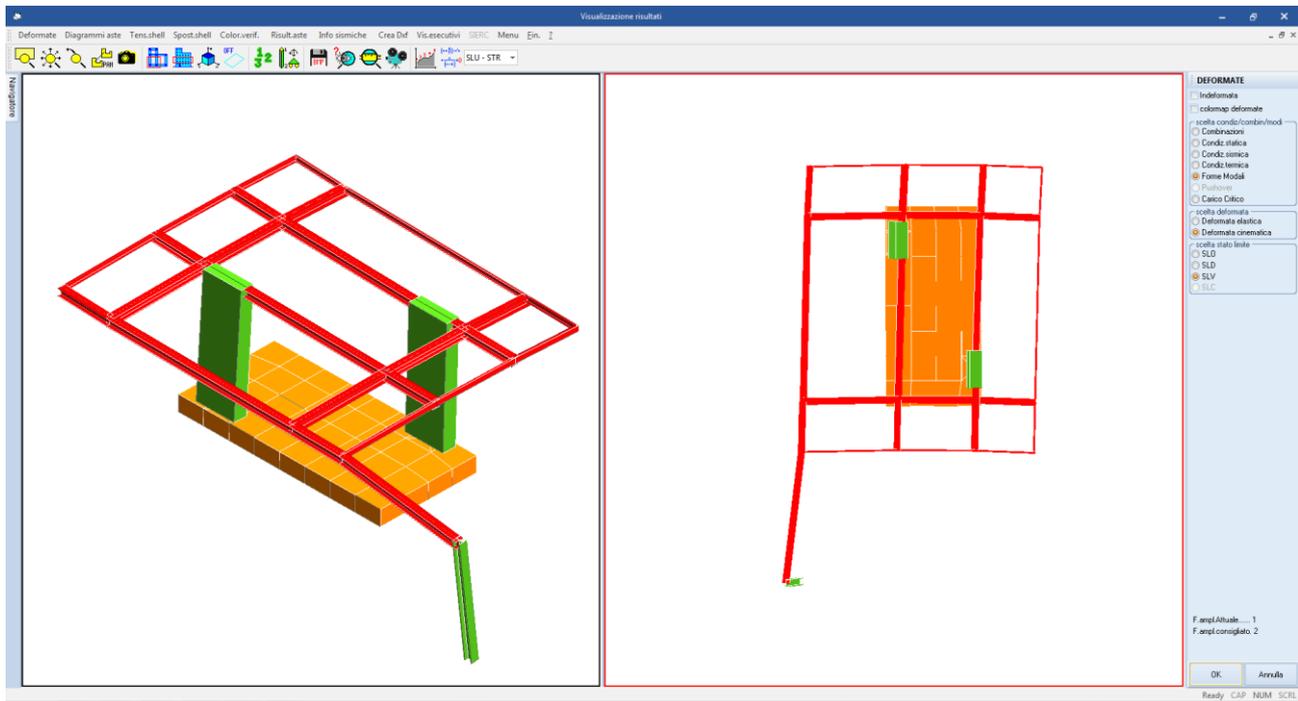
Nelle figure seguenti sono illustrate le forme modali dei primi 3 modi di vibrare.



**Figura 8: primo modo di vibrare**

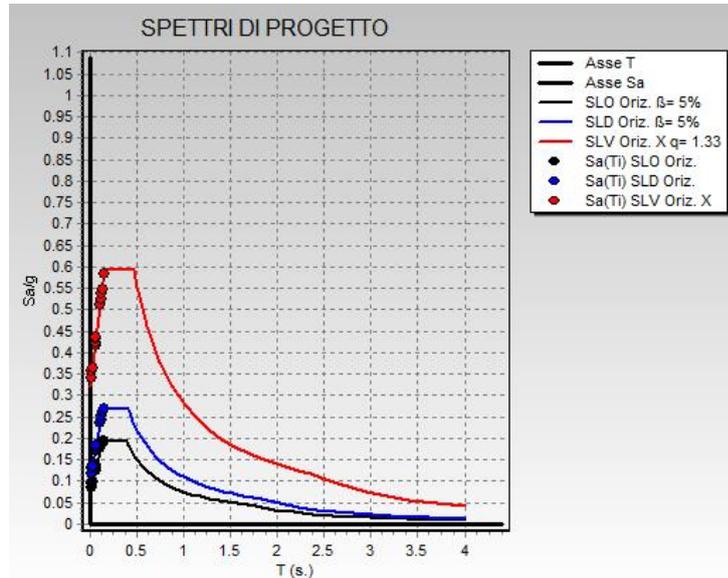


**Figura 9: secondo modo di vibrare**



**Figura 10: terzo modo di vibrare**

Nelle figure seguenti sono individuate le frequenze dei modi di vibrare rispetto agli spettri di progetto.



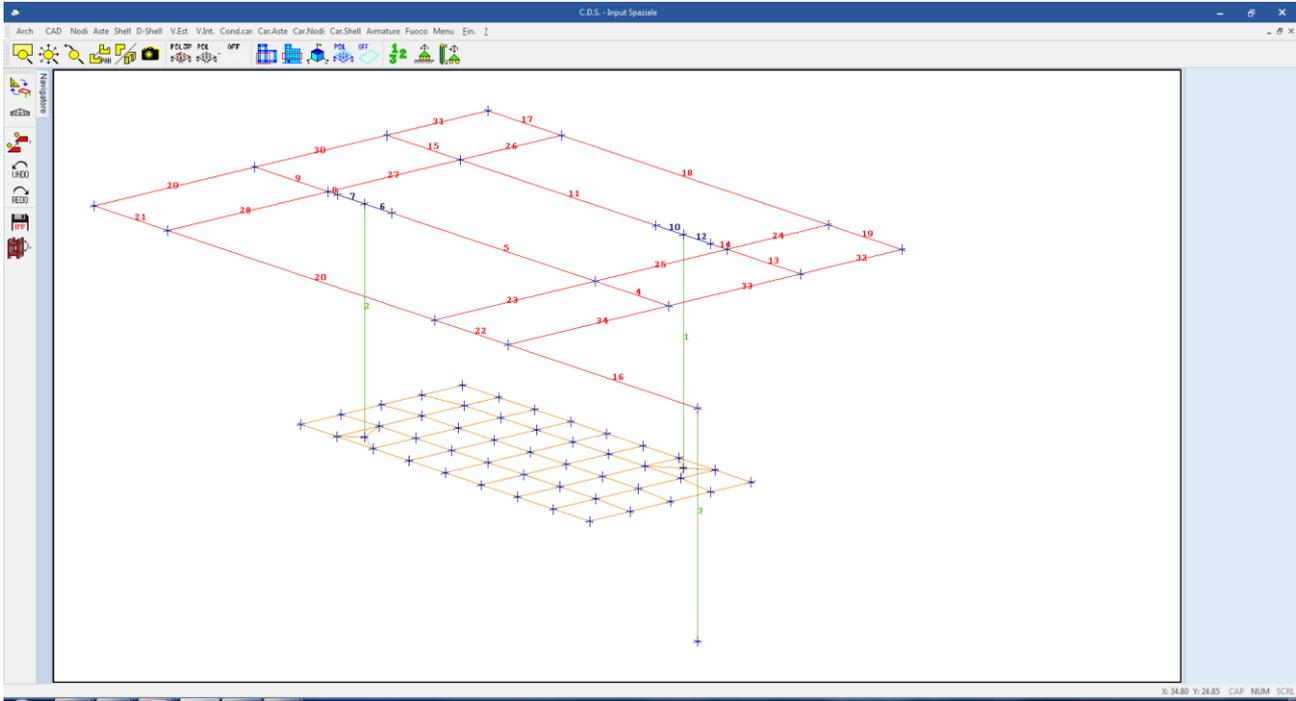
**Figura 11: frequenze proprie della struttura sugli spettri di progetto SLV, SLD, SLO**

Il periodo proprio della struttura risulta essere  $T_1 = 0.15$  sec.

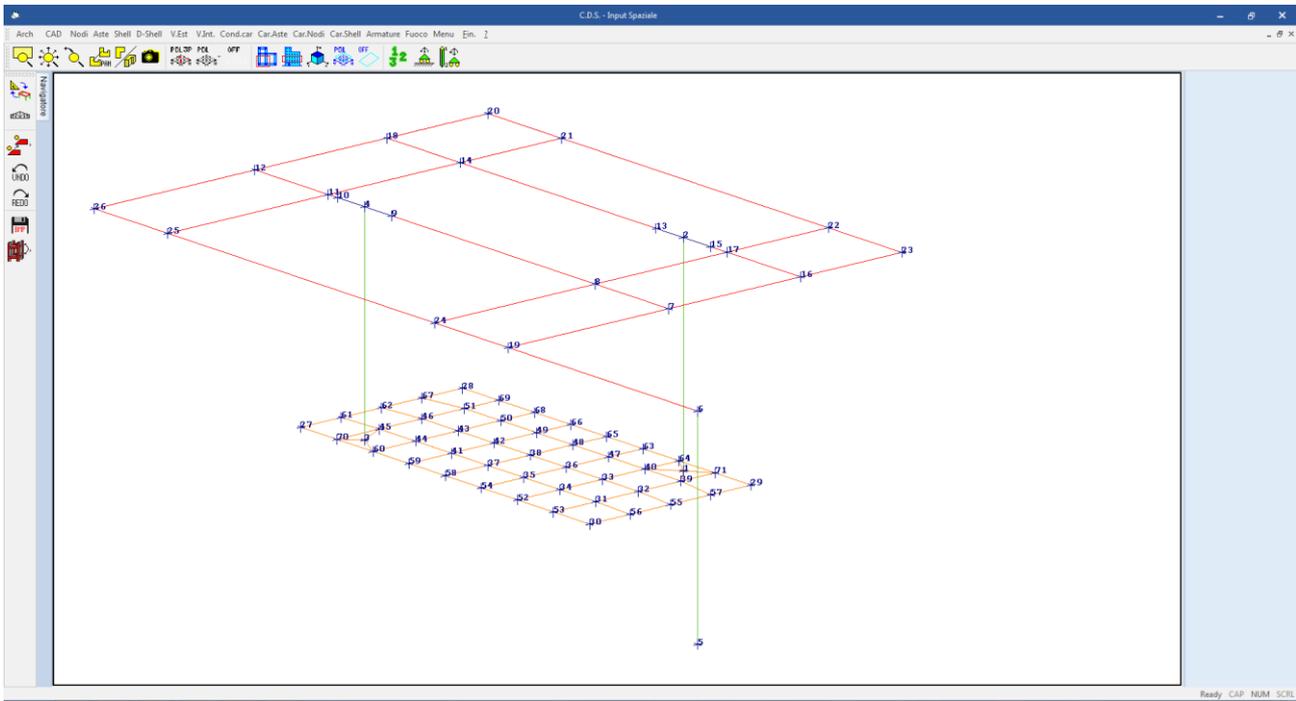
## 9.2 Presentazione dei risultati

Nelle figure che seguono sono riportati gli involuipi delle caratteristiche di sollecitazione, nonché gli schemi di applicazione di alcuni dei carichi.

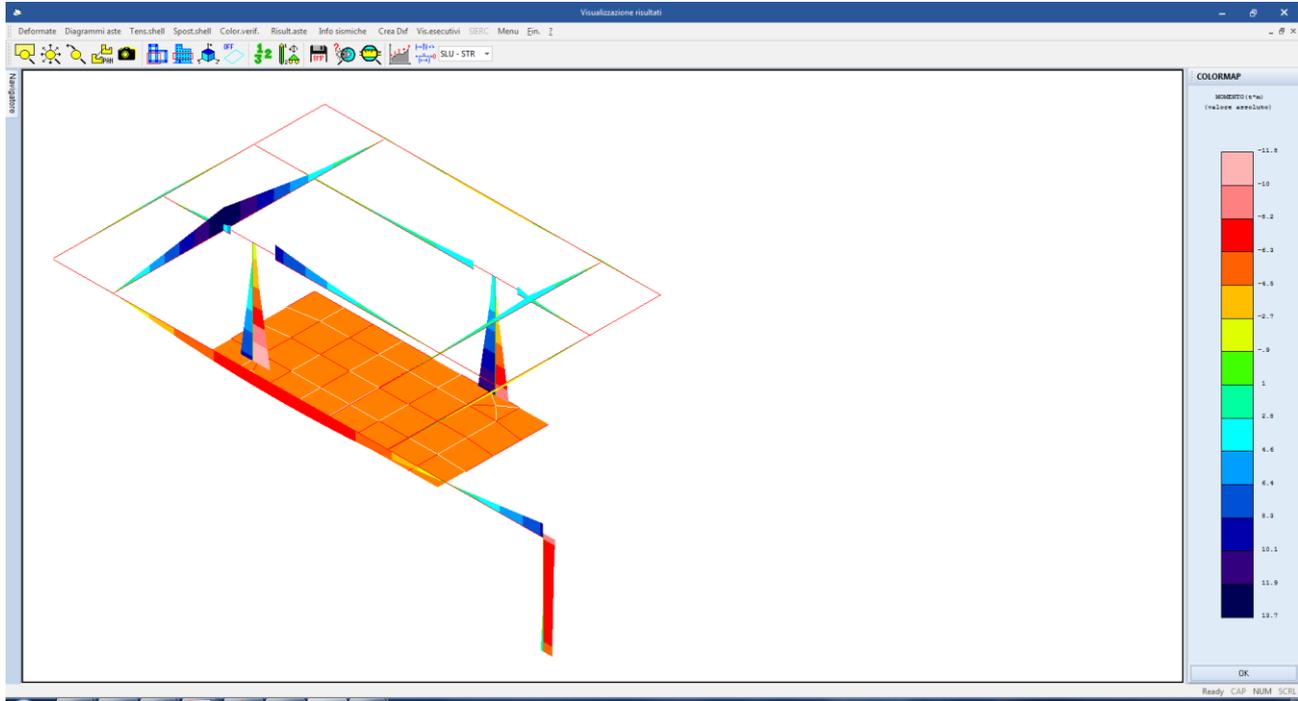
Le convenzioni sui segni sono quelle riportate nella parte iniziale del tabulato di calcolo allegato alla presente e comunque quelli tipici della Scienza delle Costruzioni. Le unità di misura sono ugualmente riportate nella parte iniziale del tabulato di calcolo.



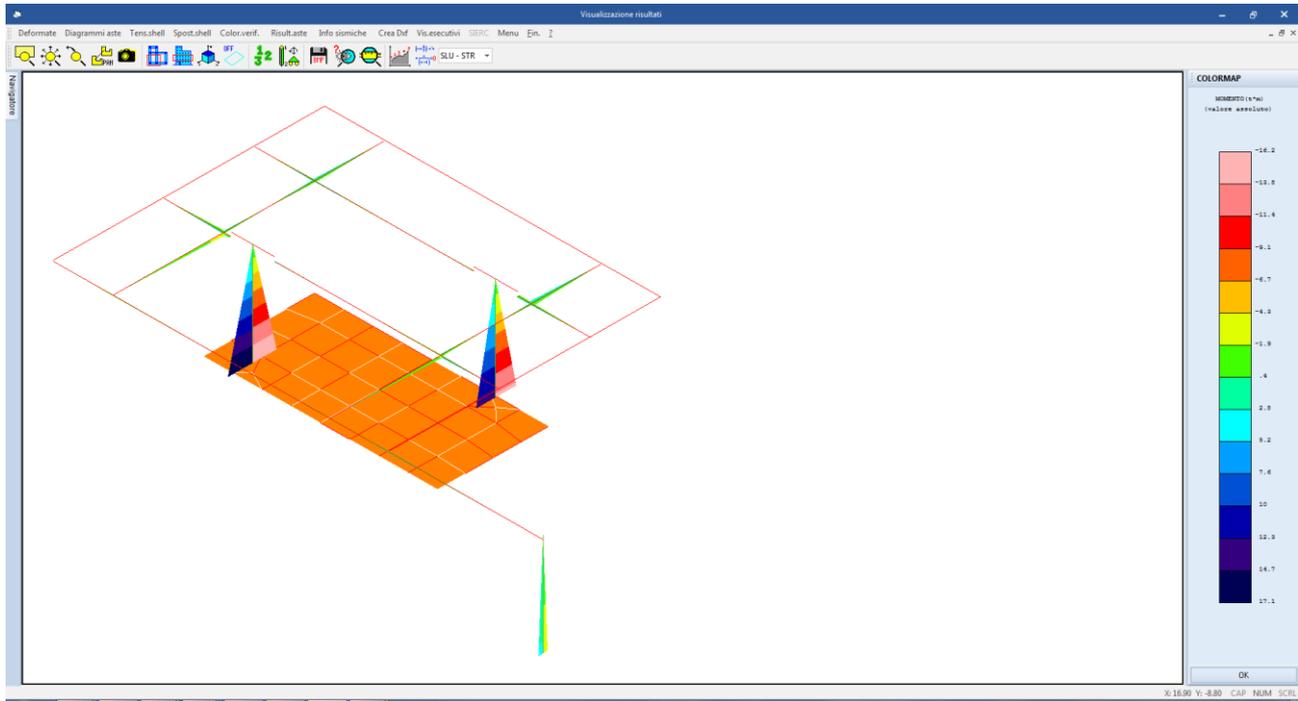
**Figura 12: numerazione aste del modello**



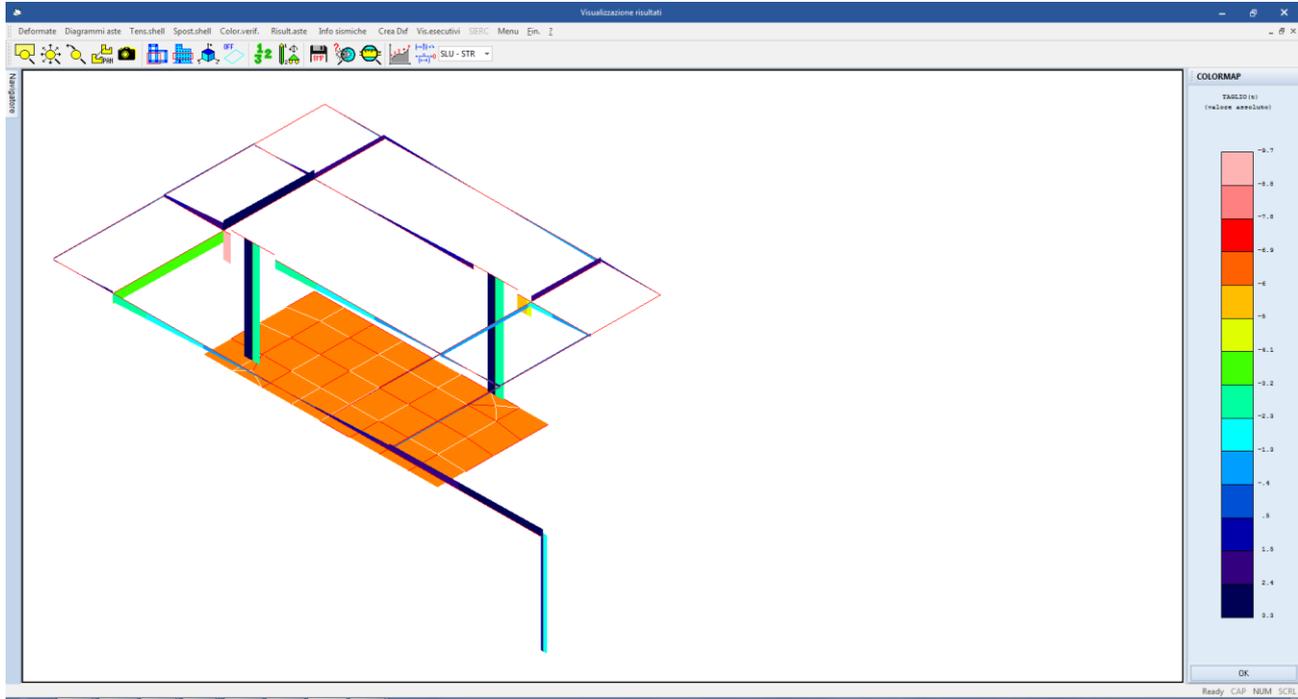
**Figura 13: numerazione nodi del modello**



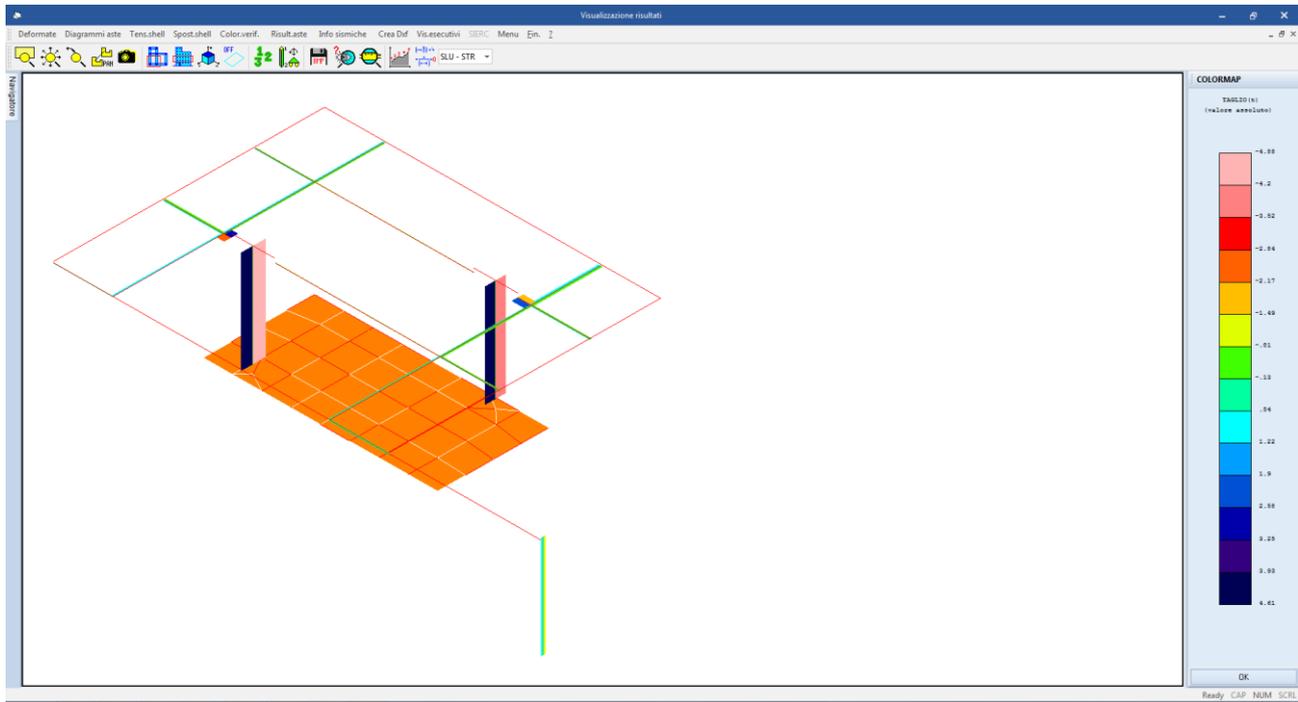
**Figura 14: involuppo dei momenti flettenti  $M_x$**



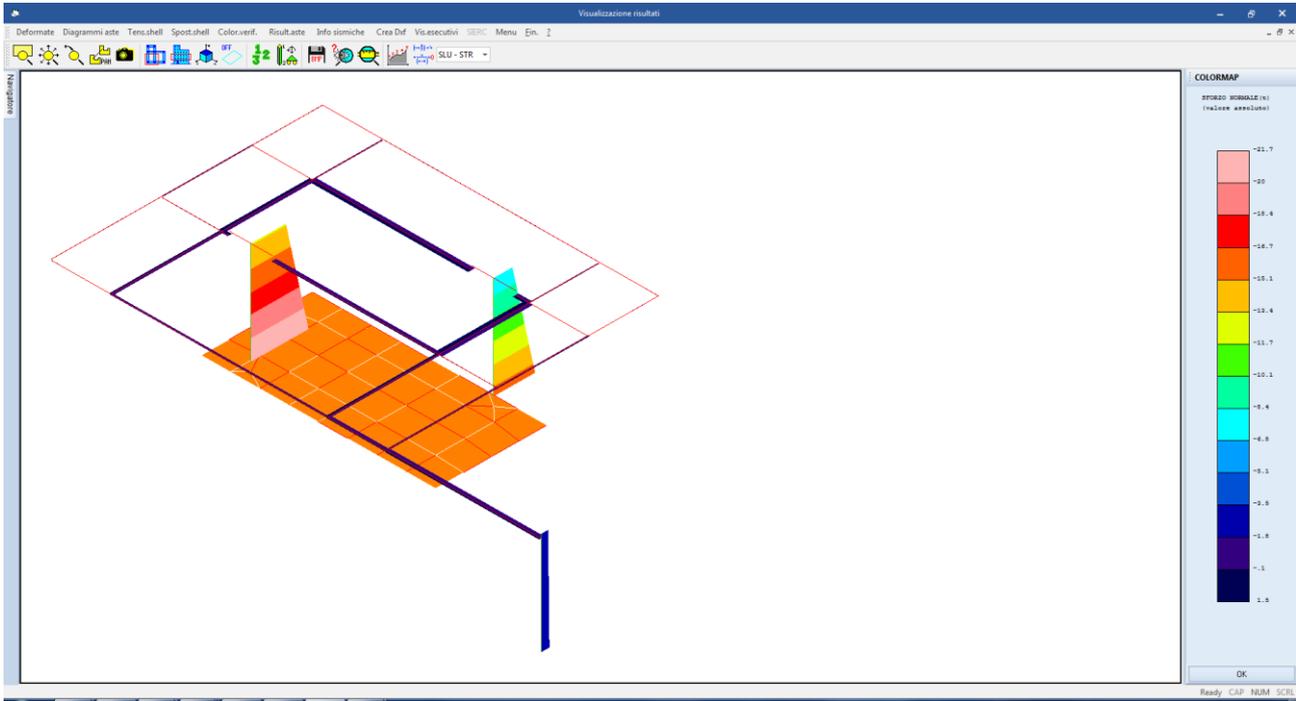
**Figura 15: involuppo dei momenti flettenti  $M_y$**



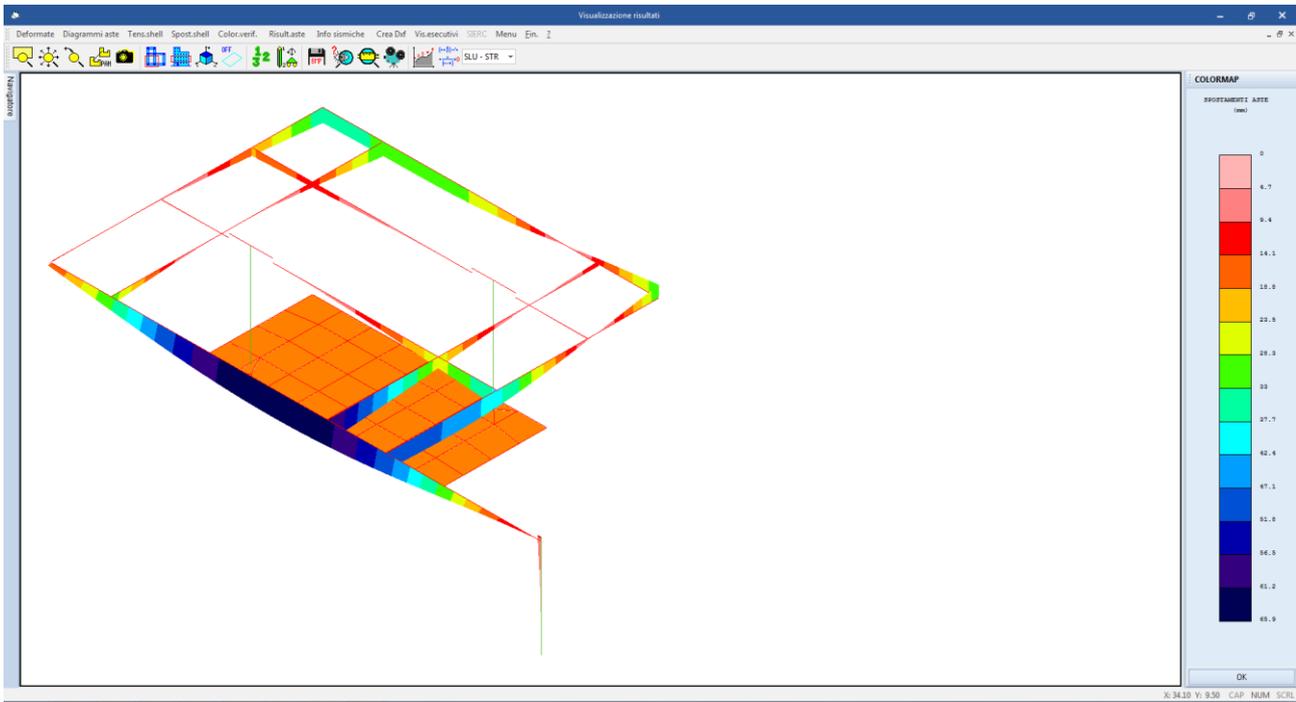
**Figura 16: involucro taglio  $V_y$**



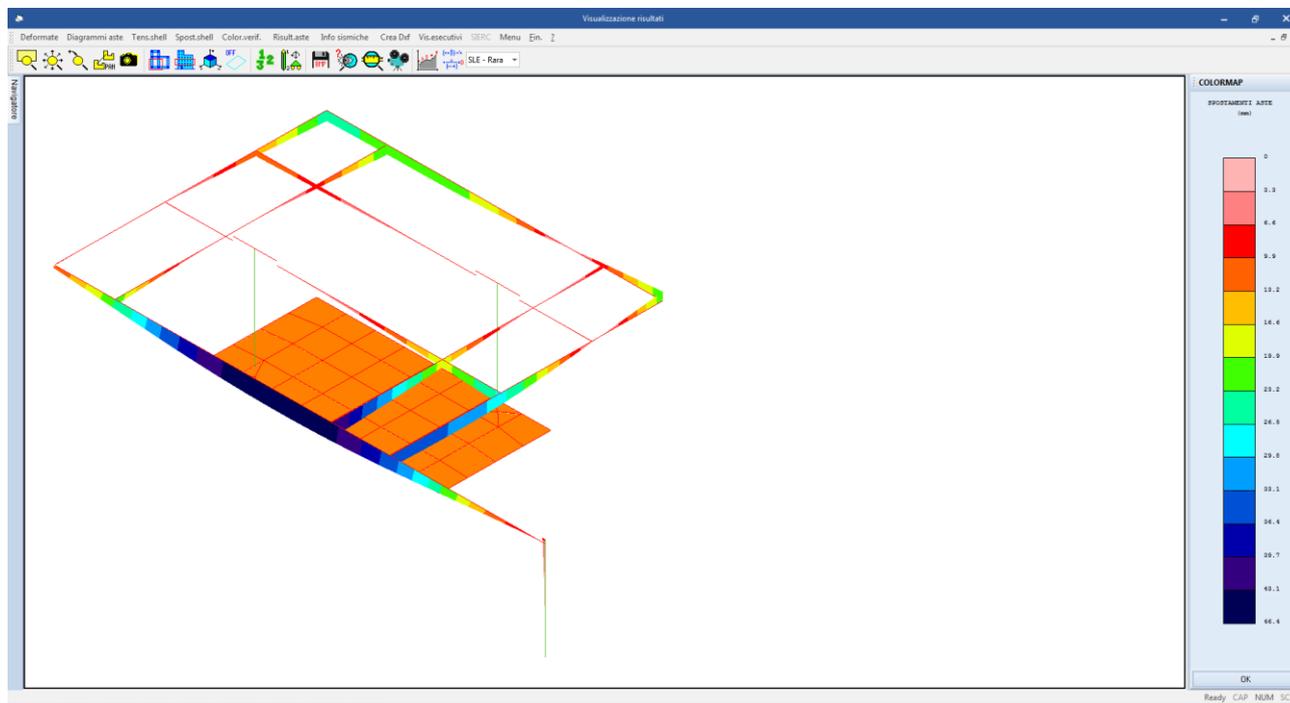
**Figura 17: involucro taglio  $V_x$**



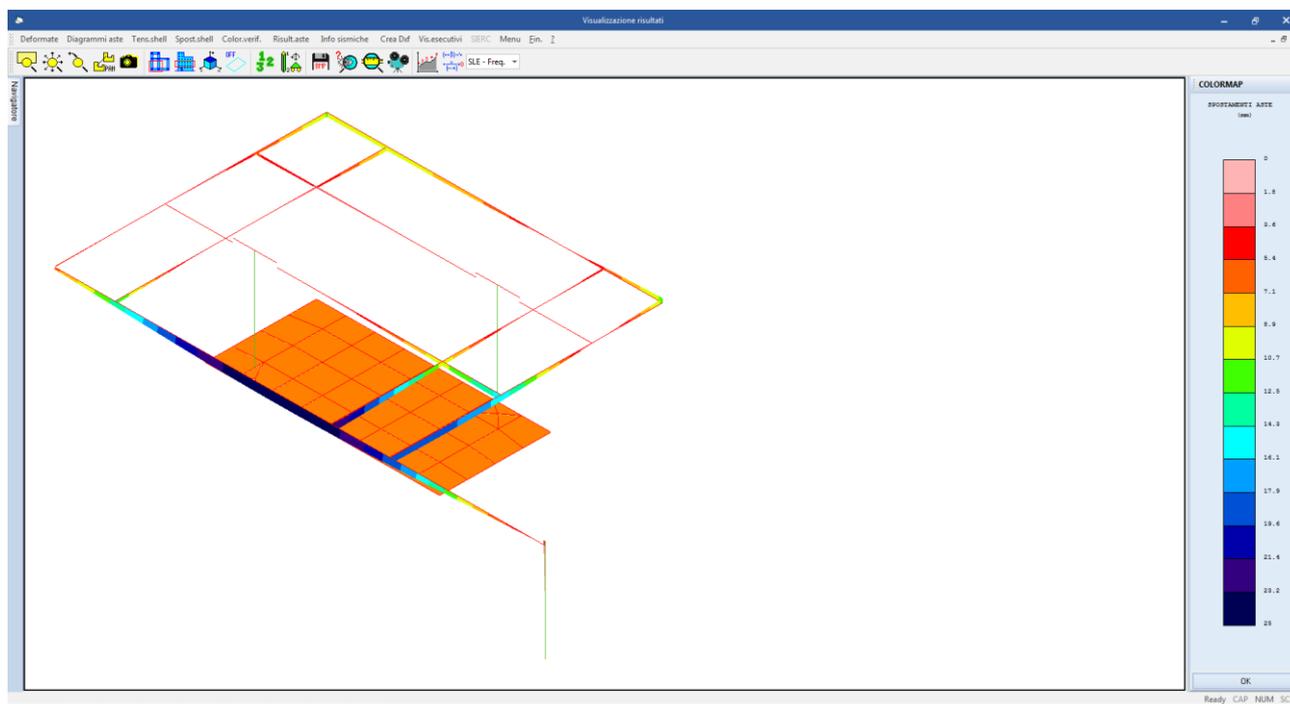
**Figura 18: involucro sforzo normale**



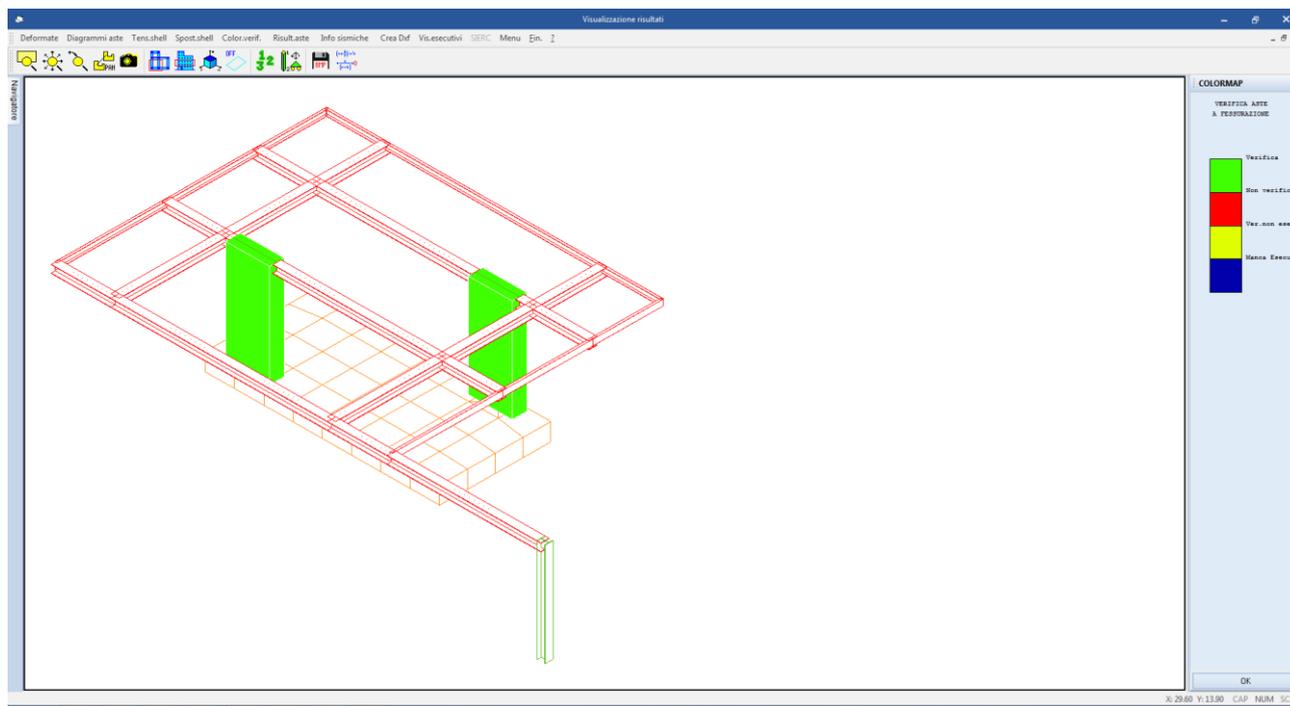
**Figura 19: colormap deformata combinazione SLV n.1**



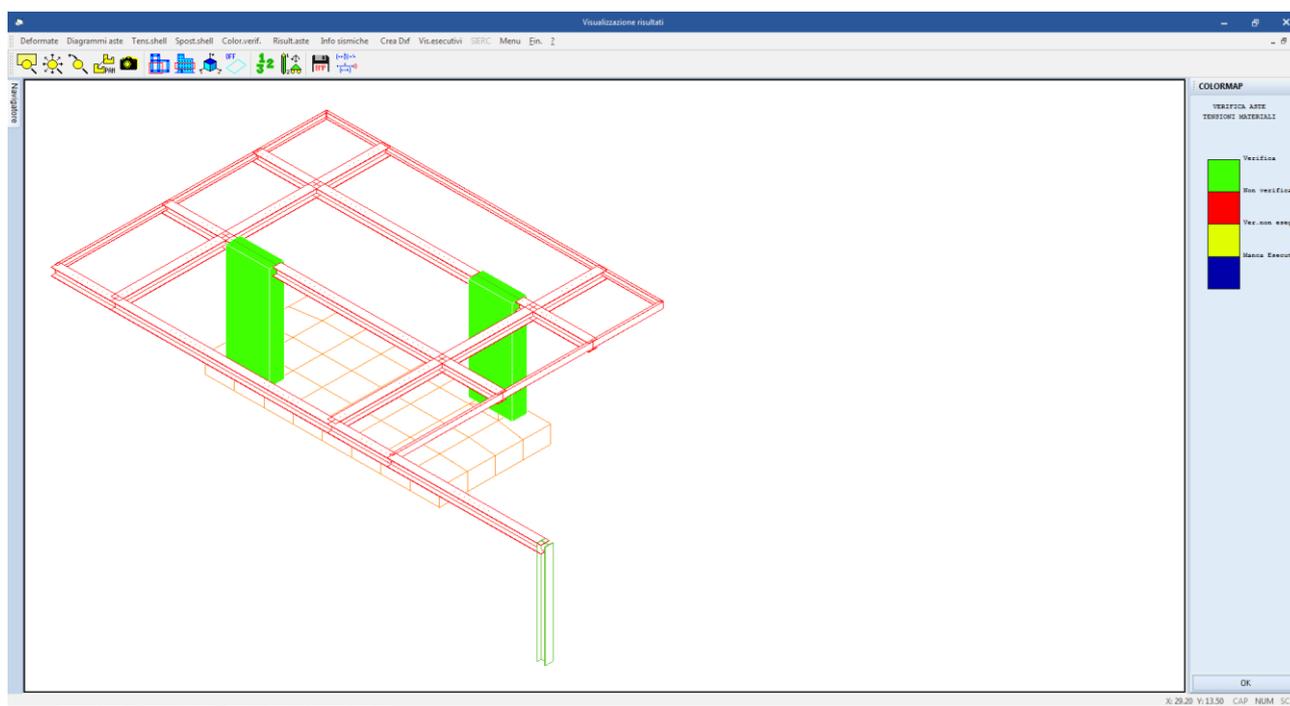
**Figura 20: colormap deformata combinazione SLE rara n.1**



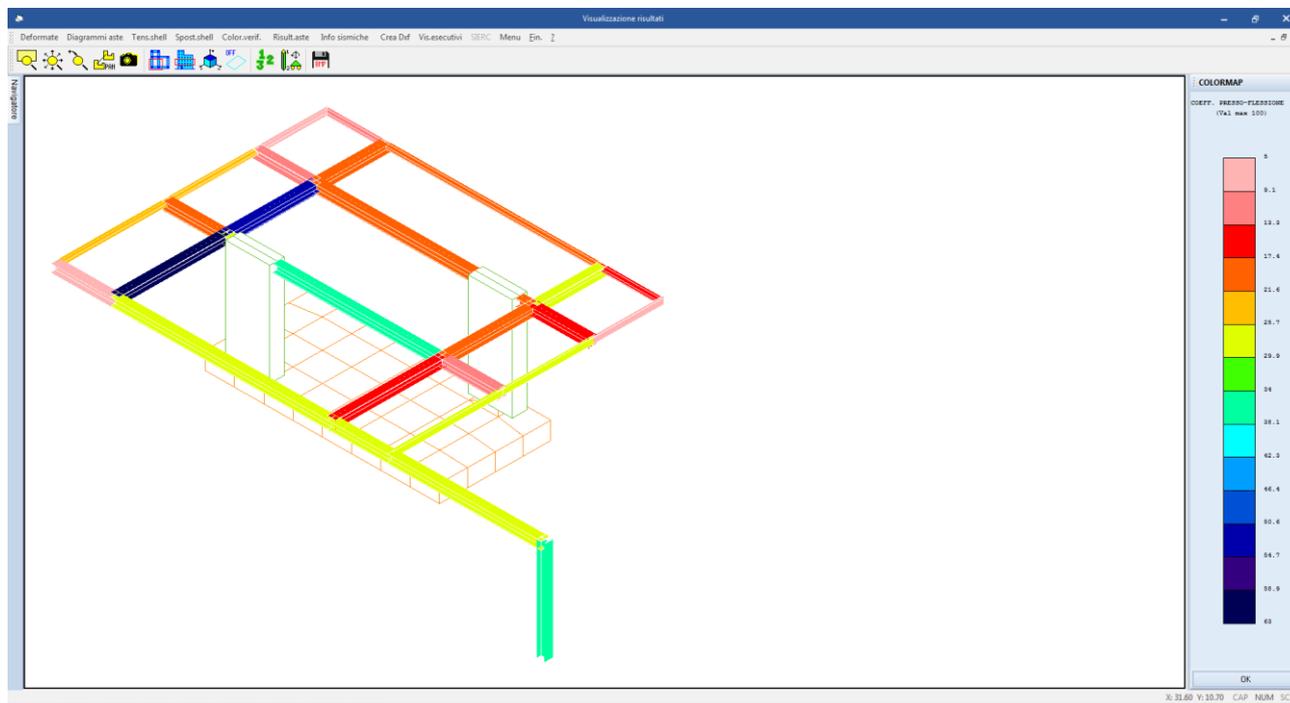
**Figura 21: colormap deformata combinazione SLE frequente n.1**



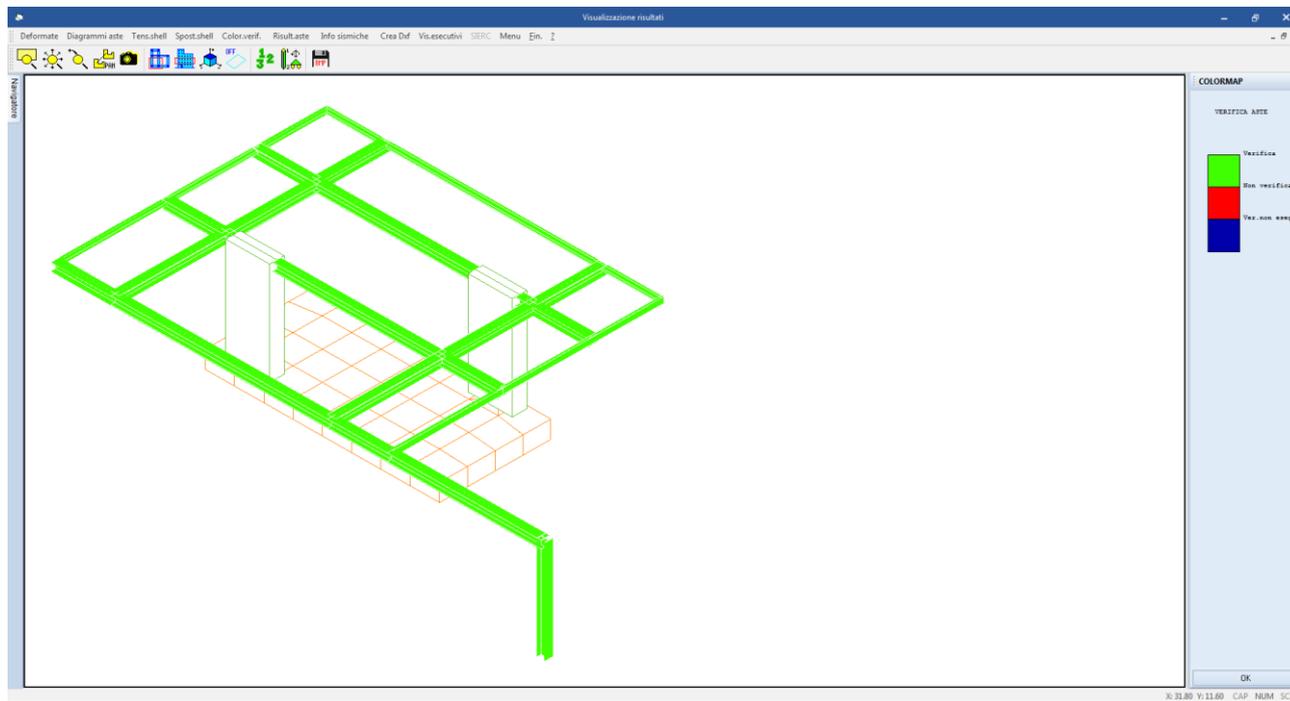
**Figura 22: colormap verifica stato limite di fessurazione**



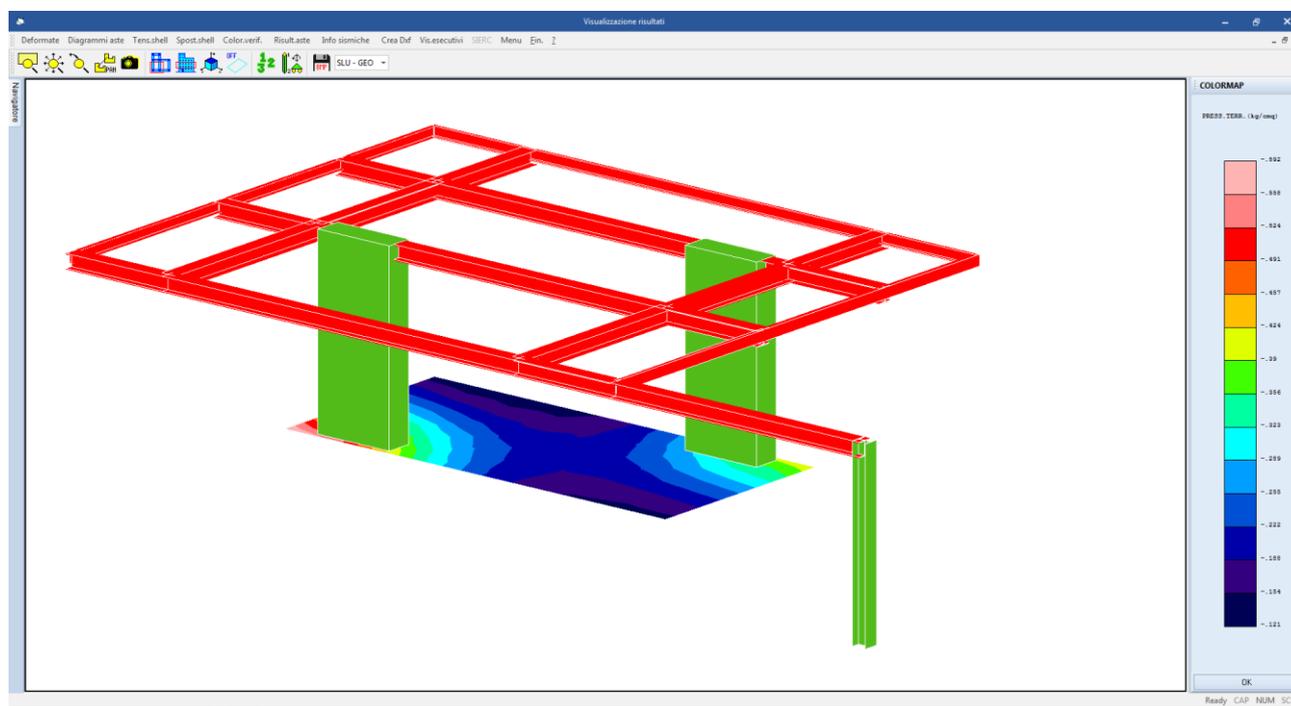
**Figura 23: colormap verifica stato limite di tensione c.a.**



**Figura 24: colormap coefficiente di impegno a pressoflessione profili in carpenteria metallica**



**Figura 25: colormap status verifiche elementi in carpenteria metallica**



**Figura 26: colormap pressione al suolo combinazione GEO n.1**

## 10 VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI OPERATIVITA'

Per quanto riguarda il requisito di limitazione dell'operatività, la struttura deve essere progettata e costruita per sopportare un'azione sismica che abbia una probabilità di occorrenza più elevata di quella dell'azione sismica di progetto senza che si verifichi un danneggiamento con conseguenti limitazioni nell'utilizzo i cui costi sarebbero eccessivamente alti se rapportati con il costo della struttura in sé.

L'azione sismica da tenere in conto per il "requisito di mantenimento delle funzionalità operative" ha una probabilità di superamento del 81% nel tempo di ritorno  $T_r$  di 120 (grandezza funzione della vita utile della struttura e della classe di utilizzo).

Il "requisito relativo al mantenimento delle funzionalità operative" può considerarsi soddisfatto se gli spostamenti relativi tra i piani sono limitati secondo quanto stabilito al p.to 7.3.7.2 della [3].

### 10.1 Analisi e calcolo degli spostamenti

Gli spostamenti sono valutati utilizzando l'analisi dinamica modale con spettro di progetto applicata al modello tridimensionale dell'edificio.

I calcoli sono stati effettuati con lo stesso procedimento seguito per lo stato limite ultimo per quanto riguarda le combinazioni dei modi, l'eccentricità accidentale, le combinazioni delle azioni orizzontali e la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni.

Nel caso in esame, benchè non vi siano elementi secondari come le tamponature per cui eseguire questo tipo di verifica, si assumono le deformate di edifici con tamponamenti collegati rigidamente alla struttura e che interferiscono con la deformabilità della stessa con comportamento fragile, ovvero si deve verificare che:

Verifica allo SLO  $qd_r < 0,0033h$

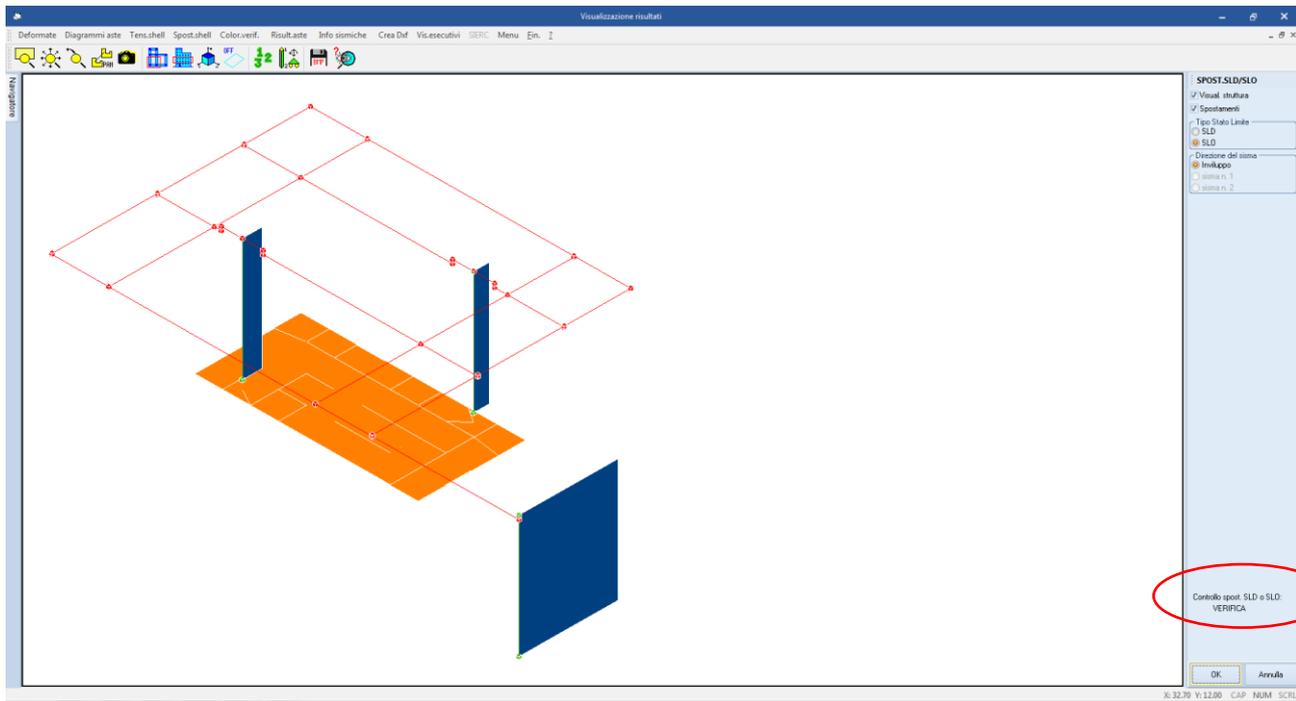
dove:

$d_r$  è lo spostamento relativo di interpiano calcolato sulla base delle indicazioni dei par. 7.3.3 e 7.3.4 della [3].

$h$  è l'altezza di interpiano per i vari livelli.

In base alla geometria dell'edificio si possono calcolare gli spostamenti di interpiano massimi stabiliti dalla normativa.

In figura seguente sono riportate le verifiche di spostamento secondo le due direzioni principali in pianta. Risulta verificato che gli spostamenti di interpiano sono inferiori ai limiti previsti dalla normativa.



**Figura 27: grafico spostamento SLO**

SPOSTAMENTI SISMICI RELATIVI													
IDENTIFICATIVO					INVILUPPO S.L.D.				INVILUPPO S.L.O.				Stringa di Controllo Verifica
Filo N.ro	Quota inf. (m)	Quota sup. (m)	Nodo inf. N.ro	Nodo sup. N.ro	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	Sis ma Nro	Com bin Nro	Spostam. Calcolo (mm)	Spostam. Limite (mm)	
25	0.00	3.51	1	2	1	9	0.982	17.550	1	9	0.763	11.700	VERIFICATO
26	0.00	3.51	3	4	1	11	1.198	17.550	1	11	0.944	11.700	VERIFICATO
29	0.00	3.51	5	6	1	12	6.451	17.550	1	12	5.456	11.700	VERIFICATO

## 11 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO ELEMENTI IN C.A.

### 11.1 Verifica Pilastrri

#### 11.1.1 Verifica a presso-flessione

La verifica a presso-flessione deviata si effettua costruendo il dominio resistente, che è funzione dell'armatura disposta e cambia al variare dell'azione assiale, e verificando che le sollecitazioni siano interne al dominio.

**Trattandosi di una struttura in calcestruzzo III la verifica di resistenza è condotta sia allo SLU che allo SLD.**

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in calcestruzzo per gli stati limite ultimi.

Filo Iniz./Fin.	: Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla seconda quello del nodo finale
Cotg $\Theta$	: Cotangente Angolo del puntone compresso
Quota	: Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla seconda quota del nodo finale
SgmT	: Solo per le travi di fondazione: Pressione di contatto sul terreno in Kg/cm <sup>2</sup> calcolata con i valori caratteristici delle azioni assumendo i coefficienti gamma pari ad uno.
AmpC	: Solo per le travi di elevazione: Coefficiente di amplificazione dei carichi statici per tenere in conto della verifica locale dell'asta a sisma verticale.
N/Nc	: Solo per i pilastrri: Percentuale della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.
Tratto	: Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
Sez B/H	: Sulla prima riga numero della sezione nell'archivio, sulla seconda base della sezione, sulla terza altezza. Per sezioni a T è riportato l'ingombro massimo della sezione
Concio	: Numero del concio
Co Nr	: Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la massima deformazione nell'acciaio e nel calcestruzzo per la verifica a flessione
GamRd	: Solo per le travi di fondazione: Coefficiente di sovrarresistenza.
M Exd	: Momento ultimo di calcolo asse vettore X (per le travi incrementato dalla traslazione del diagramma del momento flettente)
M Eyd	: Momento ultimo di calcolo asse vettore Y
N Ed	: Sforzo normale ultimo di calcolo
x / d	: Rapporto fra la posizione dell'asse neutro e l'altezza utile della sezione moltiplicato per 100
ef% ec% (*100)	: deformazioni massime nell'acciaio e nel calcestruzzo moltiplicate per 10.000. Valore limite per l'acciaio 100 (1%), valore limite nel calcestruzzo 35 (0,35%)
Area	: Area del ferro in centimetri quadri; per le travi rispettivamente superiore ed inferiore, per i pilastrri armature lungo la base e l'altezza della sezione
Co Nr	: Numero della combinazione e in sequenza sollecitazioni ultime di calcolo che forniscono la minore sicurezza per le azioni taglianti e torcenti
V Exd	: Taglio ultimo di calcolo in direzione X
V Eyd	: Taglio ultimo di calcolo in direzione Y
T sdu	: Momento torcente ultimo di calcolo
V Rxd	: Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione X
V Ryd	: Taglio resistente ultimo delle staffe in direzione Y
T Rd	: Momento torcente resistente ultimo delle staffe
T Rld	: Momento torcente resistente ultimo dell'armatura longitudinale
Coe Cls	: Coefficiente per il controllo di sicurezza del calcestruzzo alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore è minore o uguale a 100

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo Tettoia metallica**

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FV0400 005      REV. A      FOGLIO 50 di 77

- Coe Staf** : Coefficiente per il controllo di sicurezza delle staffe alle azioni taglianti e torcenti moltiplicato per 100; la sezione è verificata se detto valore è minore o uguale a 100
- Alon** : Armatura longitudinale a torsione (nelle travi rettangolari per le quali è stata effettuata la verifica a momento  $M_y$  in questo dato viene stampata anche l'armatura flessionale dei lati verticali)
- Staffe** : Passo staffe e lunghezza del tratto da armare

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - PILASTRI E TRAVI IN DEVIATA																										
Filo Iniz. Fin. Ctgò	Quota Iniz. Final N/Nc	Tratto	Sez Bas Alt	Conc	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE											
					Co mb	M Exd (t*m)	M Eyd (t*m)	N Ed (t)	Molt Ult.	af% 100	ec	Area cmq b h	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi		
25	0.00	27	1	12	4.8	-14.0	-9.0	2.23	19	7	9.4	18.8	12	4.0	1.8	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	3	8	0.0	24	150	8
25	3.51	50	3	12	2.3	-8.4	-6.3	3.70	19	7	9.4	18.8	12	4.0	1.8	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	3	8	0.0	24	51	8
2.5	0.01	150	5	16	-1.6	0.0	-2.4	49.87	19	6	9.4	18.8	12	4.0	1.8	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	3	8	0.0	24	150	8
26	0.00	27	1	10	1.3	16.8	-11.3	1.96	19	7	9.4	18.8	10	-4.8	0.2	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	3	10	0.0	24	150	8
26	3.51	50	3	10	1.0	10.1	-8.7	3.21	19	6	9.4	18.8	10	-4.8	0.2	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	3	10	0.0	24	51	8
2.5	0.01	150	5	6	1.8	-0.3	-13.1	64.80	100	29	9.4	18.8	10	-4.8	0.2	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	3	10	0.0	24	150	8

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - PILASTRI E TRAVI IN DEVIATA																										
Filo Iniz. Fin. Ctgò	Quota Iniz. Final t	Tratto	Sez Bas Alt	Conc	VERIFICA A PRESSO-FLESSIONE										VERIFICA A TAGLIO E TORSIONE											
					Co mb	M Exd (t*m)	M Eyd (t*m)	N Ed (t)	Molt Ult.	af% 100	ec	Area cmq b h	Co mb	V Exd (t)	V Eyd (t)	T Sdu (t*m)	V Rxd (t)	V Ryd (t)	TRd (t*m)	TRld (t*m)	Coe Cls	Coe Sta	ALon cmq	staffe Pas Lun Fi		
25	0.00	27	1	12	0.5	-4.6	-8.9	7.05	19	6	9.4	18.8	12	1.3	0.5	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	1	3	0.0	24	150	8
25	3.51	50	3	12	-0.3	-2.8	-6.3	11.54	19	6	9.4	18.8	12	1.3	0.5	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	1	3	0.0	24	51	8
2.5		150	5	16	-1.5	0.0	-2.4	63.28	21	7	9.4	18.8	12	1.3	0.5	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	1	3	0.0	24	150	8
26	0.00	27	1	10	1.6	5.4	-11.3	5.85	19	7	9.4	18.8	10	-1.6	0.3	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	1	3	0.0	24	150	8
26	3.51	50	3	10	1.2	3.3	-8.7	9.53	19	7	9.4	18.8	10	-1.6	0.3	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	1	3	0.0	24	51	8
2.5		150	5	15	0.4	-0.1	-4.8	186.06	21	10	9.4	18.8	10	-1.6	0.3	0.0	47.5	52.5	20.2	0.0	1	3	0.0	24	150	8

### 11.1.2 Verifica S.L.E. Pilastro

Una volta determinate le armature dei pilastri il programma di calcolo esegue le verifiche alle tensioni ed allo stato limite di fessurazione secondo i limiti del precedente par. 4.3.2.

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in cls per gli stati limiti di esercizio.

- Filo** : Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla seconda quello del nodo finale
- Quota** : Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla seconda quota del nodo finale
- Tratto** : Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
- Com Cari** : Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare, la seconda la matrice delle combinazioni frequenti, la terza quella permanenti. Questo indicatore vale sia per la verifica a fessurazione che per il calcolo delle frecce
- Fessu** : Fessura limite e fessura di calcolo espressa in mm; se la trave non risulta fessurata l'ampiezza di calcolo sarà nulla
- Dist mm** : Distanza fra le fessure
- Concio** : Numero del concio in cui si è avuta la massima fessura
- Combin** : Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima fessura
- Mf X** : Momento flettente asse vettore X
- Mf Y** : Momento flettente asse vettore Y

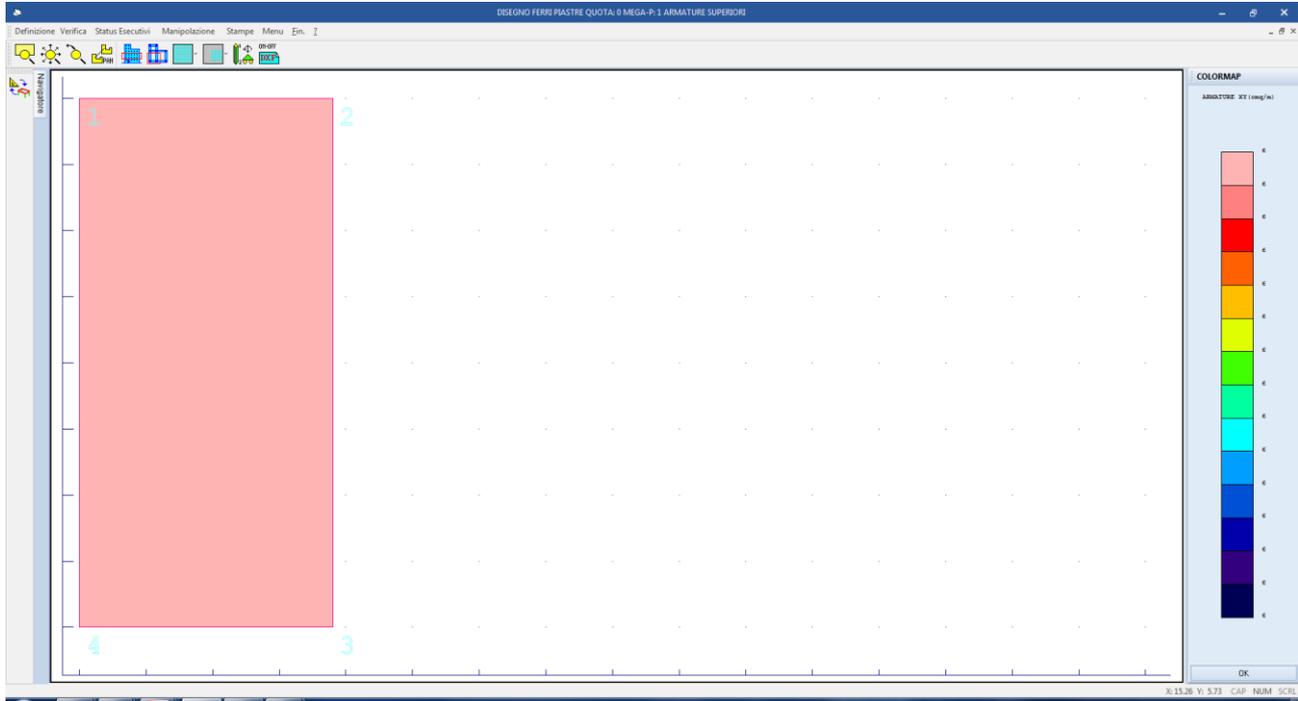
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo Tettoia metallica**

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FV0400 005      REV. A      FOGLIO 51 di 77

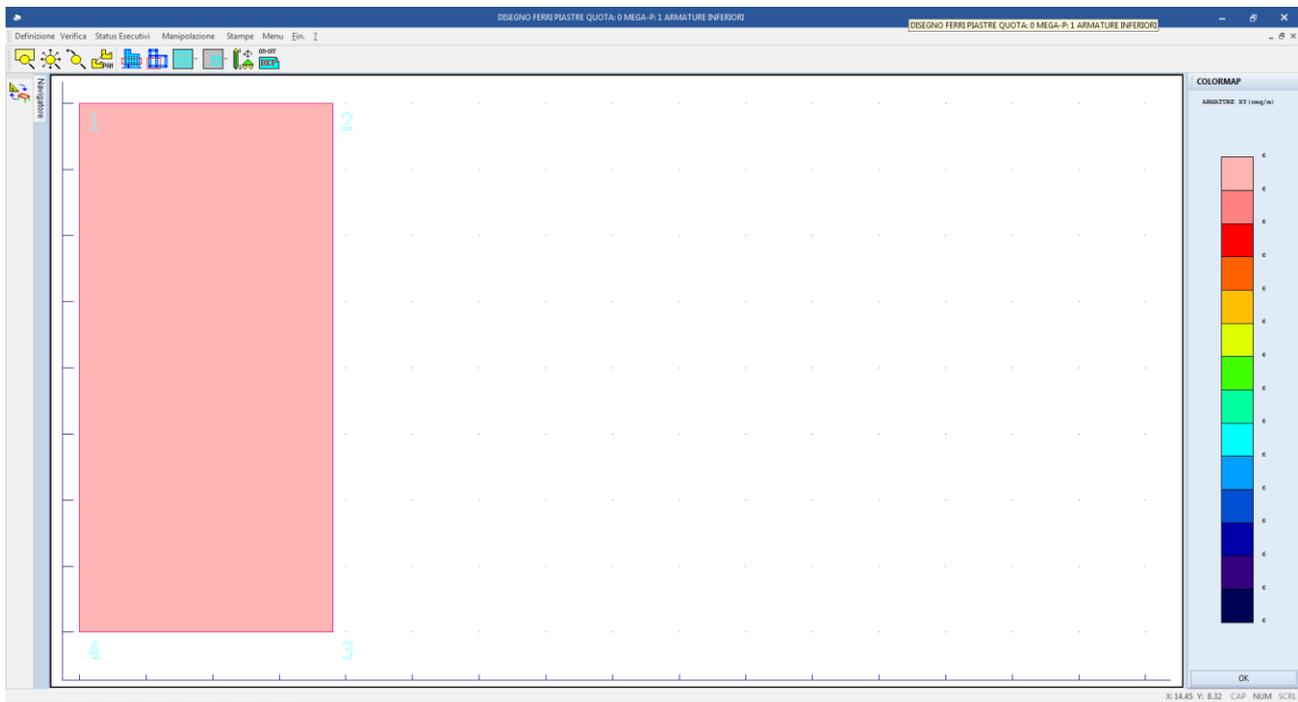
**N** : Sforzo normale  
**Frecc** : Freccia limite e freccia massima di calcolo  
**Combin** : Numero della combinazione che ha prodotto la freccia massima  
**Com Cari** : Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sul calcestruzzo, la seconda la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sull'acciaio, la terza la matrice delle combinazioni permanenti per la verifica della tensione sul calcestruzzo  
 $\sigma_{lim}$  : Valore della tensione limite in Kg/cm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{cal}$  : Valore della tensione di calcolo in Kg/cm<sup>2</sup>  
**Concio** : Numero del concio in cui si è avuta la massima tensione  
**Combin** : Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima tensione  
**Mf X** : Momento flettente asse vettore X  
**Mf Y** : Momento flettente asse vettore Y  
**N** : Sforzo normale

PILASTRI																				
FESSURAZIONE											FRECC			TENSIONI						
Filo	Quota	Tra	Combi	Fessu.	dist	Con	Com	Mf X	Mf Y	N	Frecc	Com	Combinaz	$\sigma$ lim.	$\sigma$ cal.	Co	Comb	Mf X	Mf Y	N
In fi	In Fi	tto	Caric	lim cal	mm	cio	bin	(t*m)	(t*m)	(t)	mm	bin	Carico	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	nc		(t*m)	(t*m)	(t)
25	3.51		Rara	0.3	0.000	0	5	5	-4.3	0.1	-10.1		Rara cls	165.0	4.1	5	5	-4.3	0.1	-10.1
25	0.00		Freq										Rara fer	3375	25	5	5	-4.3	0.1	-10.1
			Perm										Perm cls	120.0	2.6	5	1	-1.4	-0.4	-8.9
26	3.51		Rara	0.3	0.000	0	5	5	6.3	-0.1	-13.4		Rara cls	165.0	5.9	5	5	6.3	-0.1	-13.4
26	0.00		Freq										Rara fer	3375	36	5	5	6.3	-0.1	-13.4
			Perm										Perm cls	120.0	3.0	5	1	1.7	0.4	-11.4





**Figura 28: quantitativo di armatura superiore necessario platea di fondazione**



**Figura 29: quantitativo di armatura inferiore necessario platea di fondazione**

Nella tabella che segue sono riportate le verifiche SLV a pressoflessione e le verifiche tensionali e a fessurazione con il seguente significato dei simboli.

<b>Quota N.ro:</b>	:	Quota a cui si trova l'elemento
<b>Perim. N.ro</b>	:	Numero identificativo del macroelemento il cui perimetro è stato definito prima di eseguire la verifica
<b>Nodo 3d N.ro</b>	:	Numero del nodo relativo alla suddivisione del macroelemento in microelementi
<b>Nx</b>	:	Sforzo sul piano dell'elemento bidimensionale diretto come l'asse x del sistema locale (il sistema di riferimento locale è quello delle armature)
<b>Ny</b>	:	Sforzo sul piano dell'elemento bidimensionale diretto come l'asse y del sistema locale
<b>Txy</b>	:	Sforzo tagliante sul piano dell'elemento con direzione y e agente sulla faccia di normale x del sistema locale (ovvero anche, per la simmetria delle tensioni tangenziali, sforzo tagliante sul piano dell'elemento con direzione x e agente sulla faccia di normale y del sistema locale)
<b>Mx</b>	:	Momento flettente agente sulla sezione di normale x del sistema locale. Per le verifiche è accoppiato allo sforzo normale Nx. Questo momento è incrementato per tenere in conto il valore del momento torcente Mxy
<b>My</b>	:	Momento flettente agente sulla sezione di normale y del sistema locale. Per le verifiche è accoppiato allo sforzo normale Ny. Questo momento è incrementato per tenere in conto il valore del momento torcente Mxy
<b>Mxy</b>	:	Momento torcente con asse vettore x e agente sulla sezione di normale x (ovvero anche, per la simmetria delle tensioni tangenziali momento torcente con asse vettore y e agente sulla sezione di normale y)
<b>Molt.</b>	:	Moltiplicatore delle sollecitazioni che porta a rottura la sezione, rispettivamente nelle direzioni X e Y
<b>x/d</b>	:	Posizione adimensionalizzata dell'asse neutro rispettivamente nelle direzioni X e Y
<b>Ax superiore</b>	:	Area totale armatura superiore diretta lungo x. Area totale è l'area della pressoflessione più l'area per il taglio riportata dopo)
<b>Ay superiore</b>	:	Area totale armatura superiore diretta lungo y
<b>Ax inferiore</b>	:	Area totale armatura inferiore diretta lungo x
<b>Ay inferiore</b>	:	Area totale armatura inferiore diretta lungo y
<b>Atag</b>	:	Area per il taglio su ciascuna faccia per le due direzioni
<b><math>\sigma_t</math></b>	:	Tensione massima di contatto con il terreno
<b>Eta</b>	:	Abbassamento verticale del nodo in esame
<b>Fpunz</b>	:	Forza di punzonamento determinata amplificando il massimo valore della forza punzonante (ottenuta dall'involuppo fra le varie combinazioni di carico agenti) per un coefficiente beta raccomandato nell'eurocodice 2 (figura 6.21). Per le piastre di fondazione la forza di punzonamento è stata ridotta dell'effetto favorevole della pressione del suolo
<b>FpunzLi</b>	:	Resistenza al punzonamento ottenuta dall'applicazione della formula (6.47) dell'eurocodice 2, utilizzando il perimetro di base definito nelle figure 6.13 e 6.15
<b>Apunz</b>	:	Armatura di punzonamento calcolata dalla formula (6.52) dell'eurocodice 2

**VEd** : Azione di taglio-punzonamento secondo la formula (6.53) dell'eurocodice 2

**VRd,max** : Resistenza di taglio-punzonamento secondo la formula (6.53) dell'eurocodice 2

S.L.U. - AZIONI S.L.V. - VERIFICA PIASTRE - QUOTA: 0 ELEMENTO: 1																						
Quo N.r	P. Nr	Nod3d N.ro	Nx Kg/m	Ny Kg/m	Txy Kg/m	Mx kgm/m	My kgm/m	Mxy kgm/m	Molt	x/d	Molt	x/d	Ax s	Ay s	Ax i	Ay i	Atag	σt kg/cmq	eta mm	Fpunz. kg	FpnzLi kg	Apunz cmq
0	1	27	0	0	0	-2150	2110	935	10.2	0.1	10.4	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.6	-0.6			
0	1	60	0	0	0	-3377	-4087	2644	6.5	0.1	5.4	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.5	-0.5			
0	1	61	0	0	0	-3646	1246	634	6.0	0.1	17.7	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.5	-0.5			
0	1	62	0	0	0	-3354	677	695	6.6	0.1	32.5	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.3	-0.3			
0	1	63	0	0	0	-3160	-4387	2153	7.0	0.1	5.0	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.4	-0.4			
0	1	64	0	0	0	3004	5482	1263	7.3	0.1	4.0	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.4	-0.4			
0	1	65	0	0	0	-1968	-3720	1767	11.2	0.1	5.9	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.3	-0.3			
0	1	66	0	0	0	-1747	-3327	1587	12.6	0.1	6.6	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.3	-0.3			
0	1	67	0	0	0	-1901	-760	571	11.6	0.1	29.0	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.3	-0.3			
0	1	68	0	0	0	-1557	-2585	1291	14.2	0.1	8.5	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.2	-0.2			
0	1	69	0	0	0	-1210	-1584	820	18.2	0.1	13.9	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.2	-0.2			
0	1	70	0	0	0	2624	6223	1080	8.4	0.1	3.5	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.6	-0.6			
0	1	71	0	0	0	1880	4433	1209	11.7	0.1	5.0	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.5	-0.5			

S.L.U. - AZIONI S.L.D. - VERIFICA PUNZONAMENTO PIASTRE - QUOTA: 0 ELEMENTO: 1																						
Quo N.r	P. Nr	Nod3d N.ro	Nx Kg/m	Ny Kg/m	Txy Kg/m	Mx kgm/m	My kgm/m	Mxy kgm/m	Molt	x/d	Molt	x/d	Ax s	Ay s	Ax i	Ay i	Atag	σt kg/cmq	eta mm	Fpunz. kg	FpnzLi kg	Apunz cmq
0	1	27	0	0	0	1344	1878	448	16.4	0.1	11.7	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.6	-0.6			
0	1	60	0	0	0	-1714	4271	1363	12.9	0.1	5.2	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.4	-0.4			
0	1	61	0	0	0	-1337	1123	74	16.5	0.1	19.6	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.5	-0.5			
0	1	62	0	0	0	-2417	582	671	9.1	0.1	37.9	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.3	-0.3			
0	1	63	0	0	0	-2008	-3544	1959	11.0	0.1	6.2	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.3	-0.3			
0	1	64	0	0	0	1905	3265	1256	11.6	0.1	6.8	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.3	-0.3			
0	1	65	0	0	0	-1891	-3720	1782	11.7	0.1	5.9	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.2	-0.2			
0	1	66	0	0	0	-1747	-3327	1587	12.6	0.1	6.6	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.2	-0.2			
0	1	67	0	0	0	-1901	-728	604	11.6	0.1	30.3	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.2	-0.2			
0	1	68	0	0	0	-1557	-2585	1291	14.2	0.1	8.5	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.2	-0.2			
0	1	69	0	0	0	-1210	-1584	820	18.2	0.1	13.9	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.2	-0.2			
0	1	70	0	0	0	2624	6223	1080	8.4	0.1	3.5	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.5	-0.5			
0	1	71	0	0	0	1765	4433	816	12.5	0.1	5.0	0.08	10.1	10.1	10.1	10.1	0.0	0.4	-0.4			

Per le verifiche agli stati limite di esercizio degli elementi bidimensionali le tabelle che seguono hanno nelle colonne le seguenti informazioni

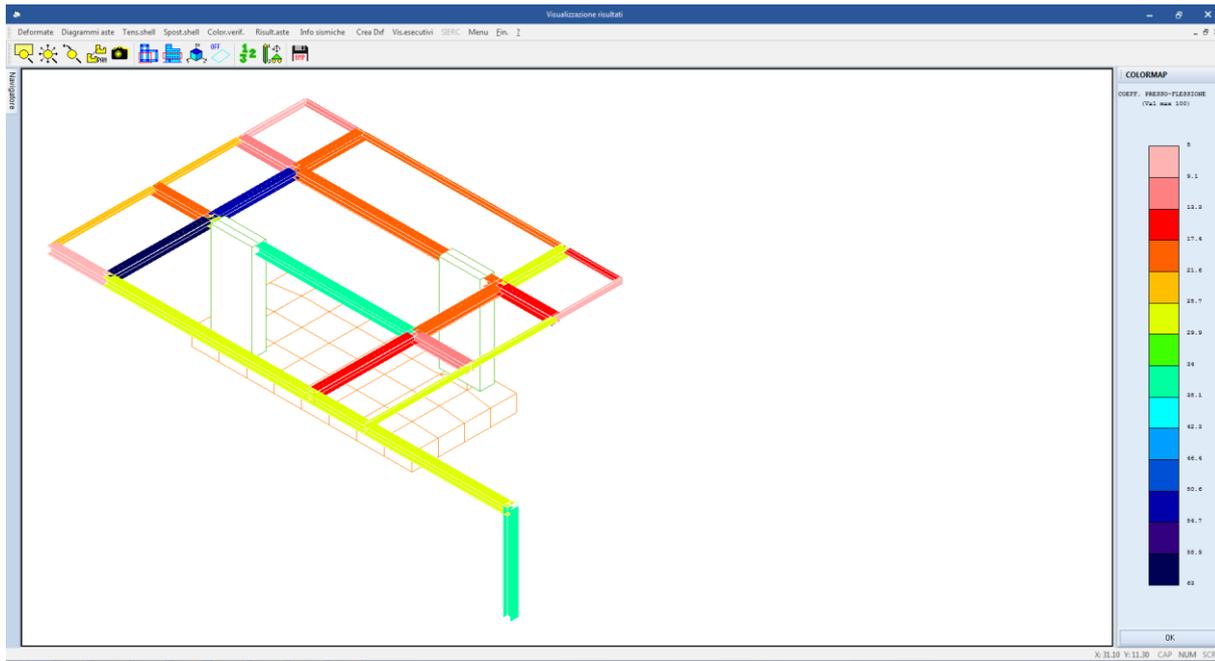
- Quota** : Quota a cui si trova l'elemento
- Perim.** : Numero identificativo del macro-elemento il cui perimetro è stato definito prima di eseguire la verifica
- Nodo** : Numero del nodo relativo alla suddivisione del macro-elemento in microelementi
- Comb Cari** : Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare, la seconda la matrice delle combinazioni frequenti, la terza quella permanenti
- Fes lim** : Fessura limite espressa in mm
- Fess.** : Fessura di calcolo espressa in mm; se sull'elemento non si aprono fessure tutta la riga sarà nulla
- Dist mm** : Distanza fra le fessure
- Combin** : Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima fessura
- Mf X** : Momento flettente agente sulla sezione di normale x del sistema locale. (Il sistema di riferimento locale è quello delle armature)
- N X** : Sforzo sul piano dell'elemento bidimensionale diretto come l'asse x del sistema locale
- Mf Y** : Momento flettente agente sulla sezione di normale y del sistema locale. (Il sistema di riferimento locale è quello delle armature)
- N Y** : Sforzo sul piano dell'elemento bidimensionale diretto come l'asse y del sistema locale

- Cos teta** : *Coseno dell'angolo teta tra l'armatura in direzione X e la direzione della tensione principale di trazione*
- Sin teta** : *Seno dell'angolo teta*
- Combina Carico** : *Indicatore della matrice di combinazione; la prima riga individua la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sul cls, la seconda la matrice delle combinazioni rare per la verifica della tensione sull'acciaio, la terza la matrice delle combinazioni permanenti per la verifica della tensione sul cls*
- s lim** : *Valore della tensione limite in Kg/cm<sup>2</sup>*
- s cal** : *Valore della tensione di calcolo in Kg/cm<sup>2</sup> sulla faccia di normale x*
- Conbin** : *Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima tensione*
- Mf X** : *Momento flettente agente sulla sezione di normale x del sistema locale. (Il sistema di riferimento locale è quello delle armature)*
- N X** : *Sforzo sul piano dell'elemento bidimensionale diretto come l'asse x del sistema locale*
- s cal** : *Valore della tensione di calcolo in Kg/cm<sup>2</sup> sulla faccia di normale y*
- Conbin** : *Numero della combinazione ed in sequenza sollecitazioni per cui si è avuta la massima tensione*
- Mf Y** : *Momento flettente agente sulla sezione di normale y del sistema locale*
- N Y** : *Sforzo sul piano dell'elemento bidimensionale diretto come l'asse y del sistema locale*

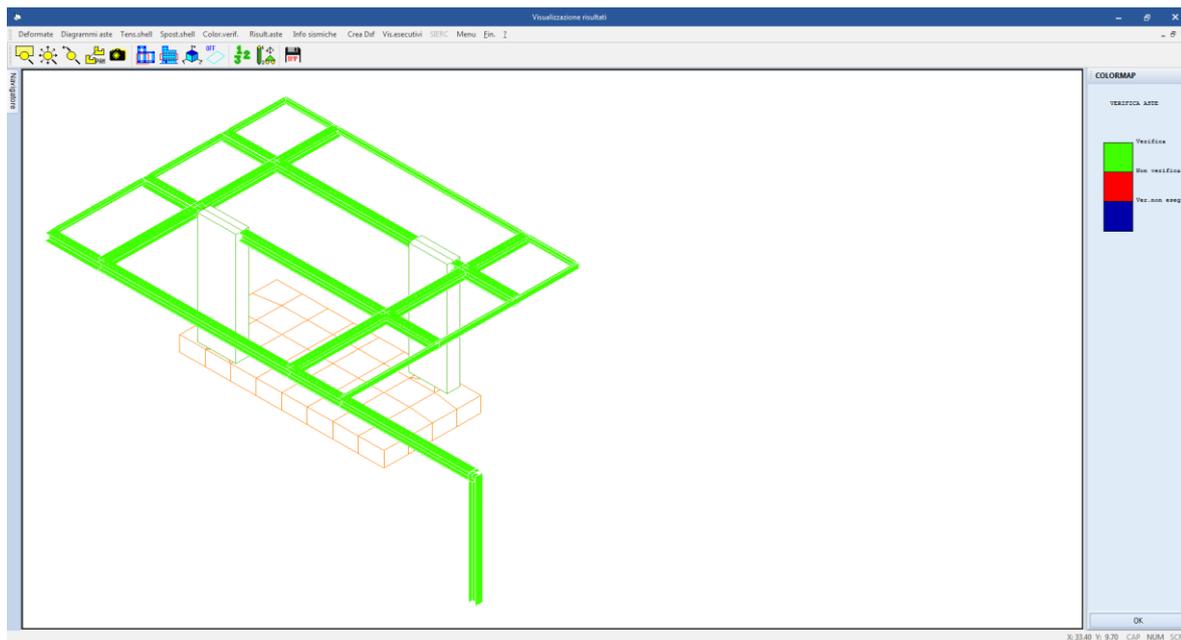
S.L.E. - VERIFICA FESSURAZIONE - QUOTA: 0 ELEMENTO: 1																							
FESSURAZIONI													TENSIONI			DIREZIONE X				DIREZIONE Y			
Quo N.r	Per N.r	Nodo N.ro	Comb. Cari	Fes lim	Fess mm	dis mm	Co mb	MfX (t <sup>m</sup> )	NX (t)	MfY (t <sup>m</sup> )	NY (t)	cos teta	sin teta	Combina Carico	σ lim. Kg/cm <sup>2</sup>	σ cal. Kg/cm <sup>2</sup>	Co mb	Mf (t <sup>m</sup> )	N (t)	σ cal. Kg/cm <sup>2</sup>	Co mb	Mf (t <sup>m</sup> )	N (t)
0	1	27	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	0.9	0.0	1.3	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	3.5	3	0.9	0.0	4.9	3	1.3	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	170	3	0.9	0.0	238	3	1.3	0.0
			Perm											PermCls	100.0	1.8	1	0.5	0.0	2.5	1	0.7	0.0
0	1	60	Rara Freq	0.2	0.00	0	6	1.8	0.0	3.0	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	6.9	3	1.9	0.0	11.5	8	3.1	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	335	3	1.9	0.0	556	8	3.1	0.0
			Perm											PermCls	100.0	5.1	1	1.4	0.0	7.5	1	2.0	0.0
0	1	61	Rara Freq	0.2	0.00	0	5	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	3.0	5	-0.8	0.0	2.9	3	0.8	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	145	5	-0.8	0.0	141	3	0.8	0.0
			Perm											PermCls	100.0	1.2	1	-0.3	0.0	1.5	1	0.4	0.0
0	1	62	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	-1.7	0.0	-0.2	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	6.4	3	-1.7	0.0	1.5	3	0.4	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	308	3	-1.7	0.0	74	3	0.4	0.0
			Perm											PermCls	100.0	3.6	1	-1.0	0.0	0.9	1	0.2	0.0
0	1	63	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	-1.5	0.0	-2.6	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	5.4	3	-1.5	0.0	9.5	3	-2.6	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	263	3	-1.5	0.0	460	3	-2.6	0.0
			Perm											PermCls	100.0	3.9	1	-1.1	0.0	6.3	1	-1.7	0.0
0	1	64	Rara Freq	0.2	0.00	0	6	1.3	0.0	2.4	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	5.2	3	1.4	0.0	8.9	6	2.4	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	251	3	1.4	0.0	429	6	2.4	0.0
			Perm											PermCls	100.0	3.9	1	1.1	0.0	6.5	1	1.7	0.0
0	1	65	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	-1.4	0.0	-2.7	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	5.1	3	-1.4	0.0	10.0	3	-2.7	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	248	3	-1.4	0.0	485	3	-2.7	0.0
			Perm											PermCls	100.0	3.8	1	-1.0	0.0	7.0	1	-1.9	0.0
0	1	66	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	-1.3	0.0	-2.4	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	4.7	3	-1.3	0.0	8.9	3	-2.4	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	229	3	-1.3	0.0	432	3	-2.4	0.0
			Perm											PermCls	100.0	3.4	1	-0.9	0.0	6.1	1	-1.6	0.0
0	1	67	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	-1.4	0.0	-0.5	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	5.0	3	-1.4	0.0	1.9	3	-0.5	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	244	3	-1.4	0.0	92	3	-0.5	0.0
			Perm											PermCls	100.0	3.0	1	-0.8	0.0	1.0	1	-0.3	0.0
0	1	68	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	-1.1	0.0	-1.9	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	4.2	3	-1.1	0.0	6.9	3	-1.9	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	202	3	-1.1	0.0	334	3	-1.9	0.0
			Perm											PermCls	100.0	2.9	1	-0.8	0.0	4.4	1	-1.2	0.0
0	1	69	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	-0.9	0.0	-1.1	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	3.2	3	-0.9	0.0	4.2	3	-1.1	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	156	3	-0.9	0.0	203	3	-1.1	0.0
			Perm											PermCls	100.0	2.1	1	-0.6	0.0	2.5	1	-0.7	0.0
0	1	70	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	1.9	0.0	4.5	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	7.0	3	1.9	0.0	16.4	3	4.5	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	336	3	1.9	0.0	799	3	4.5	0.0
			Perm											PermCls	100.0	4.1	1	1.1	0.0	10.1	1	2.7	0.0
0	1	71	Rara Freq	0.2	0.00	0	3	1.3	0.0	3.2	0.0	0.000	0.000	RaraCls	137.5	4.7	3	1.3	0.0	11.9	3	3.2	0.0
			RaraFer											RaraFer	3375	229	3	1.3	0.0	577	3	3.2	0.0
			Perm											PermCls	100.0	3.2	1	0.9	0.0	8.0	1	2.2	0.0

## 12 VERIFICA STATI LIMITE E DI ESERCIZIO ELEMENTI IN CARPENTERIA METALLICA

Nelle figure seguenti vengono riportate alcune colormap che forniscono una visione complessiva del livello di sicurezza della struttura.



**Figura 30: colormap livello di impegno a pressoflessione (<100 = verificato)**



**Figura 31: colormap status verifiche**

Le verifiche di resistenza e deformabilità vengono eseguite in automatico dal programma su tutte le aste metalliche del modello ottenendo i risultati riportati nella tabella seguente.

Si riporta appresso la spiegazione delle sigle usate nelle tabelle di verifica aste in acciaio e di verifica aste in legno.

<b>Fili N.ro</b>	: Sulla prima riga numero del filo del nodo iniziale, sulla terza quello del nodo finale
<b>Quota</b>	: Sulla prima riga quota del nodo iniziale, sulla terza quota del nodo finale
<b>Tratto</b>	: Se una trave è suddivisa in più tratti sulla prima riga è riportato il numero del tratto, sulla terza il numero di suddivisioni della trave
<b>Cmb N.r</b>	: Numero della combinazione per la quale si è avuta la condizione più gravosa (rapporto di verifica massimo). La combinazione 0, se presente, si riferisce alle verifiche delle aste in legno, costruita con la sola presenza dei carichi permanenti (1.3*G1 + 1.5*G2). Seguono le caratteristiche associate alla combinazione:
<b>N Sd</b>	: Sforzo normale di calcolo
<b>MxSd</b>	: Momento flettente di calcolo asse vettore X locale
<b>MySd</b>	: Momento flettente di calcolo asse vettore Y locale
<b>VxSd</b>	: Taglio di calcolo in direzione dell'asse X locale
<b>VySd</b>	: Taglio di calcolo in direzione dell'asse Y locale
<b>T Sd</b>	: Torsione di calcolo
<b>N Rd</b>	: Sforzo normale resistente ridotto per presenza dell'azione tagliante
<b>MxV.Rd</b>	: Momento flettente resistente con asse vettore X locale ridotto per presenza di azione tagliante. Per le sezioni di classe 3 è sempre il momento limite elastico, per quelle di classe 1 e 2 è il momento plastico. Se inoltre la tipologia della sezione è doppio T, tubo tondo, tubo rettangolare e piatto, il momento è ridotto dall'eventuale presenza dello sforzo normale
<b>MyV.Rd</b>	: Momento flettente resistente con asse vettore Y locale ridotto per presenza di azione tagliante. Vale quanto riportato per il dato precedente
<b>VxplRd</b>	: Taglio resistente plastico in direzione dell'asse X locale
<b>VyplRd</b>	: Taglio resistente plastico in direzione dell'asse X locale
<b>T Rd</b>	: Torsione resistente
<b>fy rid</b>	: Resistenza di calcolo del materiale ridotta per presenza dell'azione tagliante
<b>Rap %</b>	: Rapporto di verifica moltiplicato per 100. Sezione verificata per valori minori o uguali a 100. La formula utilizzata in verifica è la n.ro 6.41 di EC3. Tale formula nel caso di sezione a doppio T coincide con le formule del DM 2008 n.ro 4.2.39 e del DM 2018 n.ro 4.2.39.
<b>Sez.N</b>	: Numero di archivio della sezione
<b>Ac</b>	: Coefficiente di amplificazione dei carichi statici. Sostituisce il dato 'Sez.N.' se l'incremento dei carichi statici è maggiore di 1
<b>Qn</b>	: Carico distribuito normale all'asse della trave in kg/m, incluso il peso proprio
<b>Asta</b>	: Numerazione dell'asta

**L'ultima riga delle quattro relative a ciascuna asta, si riferisce ai valori utili ad effettuare le verifiche di instabilità:**

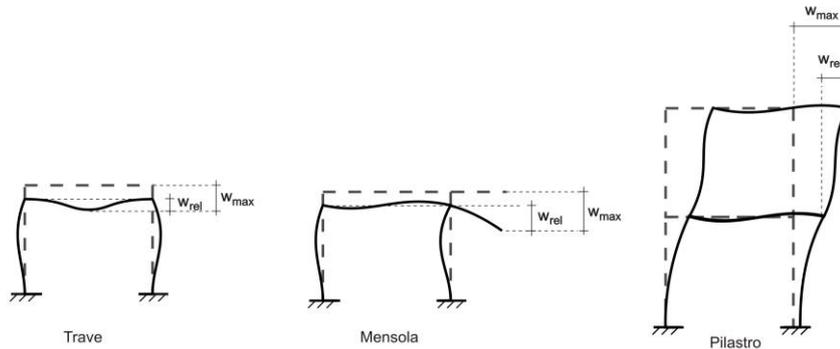
<b>I</b>	: Lunghezza della trave
<b>β*1</b>	: Lunghezza libera di inflessione
<b>clas.</b>	: Classe di verifica della trave
<b>ε</b>	: $(235/f_y)^{(1/2)}$ . Se il valore è maggiore di 1 significa che il programma

ha classificato la sezione, originariamente di classe 4, come sezione di classe 3 secondo il comma (9) del punto 5.5.2 dell'EC3 in base alla tensione di compressione massima. Per tali aste non sono state effettuate le verifiche di instabilità come previsto nel comma (10) dell'EC3 (vedi anche pto C4.2.3.1).

- Lmd** : Snellezza lambda  
**R%pf** : Rapporto di verifica per l'instabilità alla presso-flessione moltiplicato per 100 determinato dalla formula [C4.2.32]. Sezione verificata per valori minori o uguali a 100  
**R%ft** : Rapporto di verifica per l'instabilità flessione-torsionale moltiplicato per 100 determinato dalla formula [C4.2.36]  
**Wmax** : Spostamento massimo  
**Wrel** : Spostamento relativo, depurato dalla traslazione rigida dei nodi  
**Wlim** : Spostamento limite

Gli spostamenti Wmax e Wrel, essendo legati alle verifiche di esercizio, sono calcolati combinando i canali di carico con i coefficienti delle matrici SLE.

Per una più agevole comprensione del significato dei dati Wmax e Wrel, si può fare riferimento alla figura seguente:



Quindi ai fini della verifica è sufficiente che risulti  $Wrel \leq Wlim$ , essendo del tutto normale che l'asta possa risultare verificata anche con  $Wmax > Wlim$ .

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.																		
VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D																		
DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (kg)	MxSd (kg*m)	MySd (kg*m)	VxSd (kg)	VySd (kg)	T Sd (kg*m)	N Rd kg	MxV.Rd kg*m	MyV.Rd kg*m	VxplRd Kg	VyplRd Kg	T Rd kg*m	fy rid Kg/cmq	Rap %
Sez.N. 117	29	3.51	3	-2690	8295	0	36	-1115	-1	344049	40188	18794	159901	62140	1575	2619	21	
HEB280	qn=	0	12	-1348	3518	-1586	904	-436	5	344006	36045	12335	100056	39878	994	2619	23	
Asta: 3	29	0.00	12	-1529	3773	-3173	904	-436	5	344006	36045	12335	100056	39878	994	2619	37	
Instab.: =	351.0	$\beta^* =$	351.0	-1529	3569	1904	cl= 1	$\epsilon =$ 0.92	lmd= 49	Rpf= 26	Rft= 27	Wmax/rel/lim= 7.2	7.2	14.0	mm			
Sez.N. 79	35	3.51	13	-145	0	0	114	276	1	254723	26525	8909	72278	29743	525	2619	0	
HEA280	qn=	-681	10	7	130	550	-481	-8	1	254729	26526	8909	72278	29743	525	2619	7	
Asta: 4	47	3.51	14	115	7	996	-489	-215	1	254727	26526	8909	72278	29743	525	2619	11	
Instab.: =	203.6	$\beta^* =$	142.5	115	114	996	cl= 2	$\epsilon =$ 0.92	lmd= 20	Rpf= 5	Rft= 12	Wmax/rel/lim= 28.2	0.1	8.1	mm			
Sez.N. 79	47	3.51	15	-845	134	-545	-166	-268	-2	254719	26525	8909	72278	29743	525	2619	7	
HEA280	qn=	-409	6	-8	-2631	-101	-215	-1560	-6	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	10	
Asta: 5	31	3.51	6	-8	-8980	512	-215	-2903	-6	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	35	
Instab.: =	564.0	$\beta^* =$	394.8	11	8650	685	cl= 2	$\epsilon =$ 0.92	lmd= 56	Rpf= 25	Rft= 39	Wmax/rel/lim= 19.1	3.1	22.6	mm			
Sez.N. 79	51	3.51	6	-62	-3298	-1273	235	-9565	28	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	21	
HEA280	qn=	-409	6	-62	-4498	-1303	235	-9624	28	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	25	
Asta: 8	32	3.51	6	-62	-5705	-1332	235	-9683	28	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	29	
Instab.: =	25.0	$\beta^* =$	17.5	0	0	0	cl= 2	$\epsilon =$ 0.92	lmd= 0	Rpf= 0	Rft= 0	Wmax/rel/lim= 1.3	0.0	1.0	mm			
Sez.N. 79	51	3.51	12	-56	-1113	-1305	-642	765	-2	254624	26515	8906	72278	29743	525	2618	19	
HEA280	qn=	-681	12	-56	-460	-668	-642	553	-2	254672	26520	8907	72278	29743	525	2618	9	
Asta: 9	40	3.51	13	141	0	0	356	295	-2	254713	26524	8909	72278	29743	525	2619	0	
Instab.: =	203.2	$\beta^* =$	142.2	71	1070	1082	cl= 2	$\epsilon =$ 0.92	lmd= 20	Rpf= 12	Rft= 16	Wmax/rel/lim= 2.8	0.2	8.1	mm			

**STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.**

**VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D**

DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (kg)	MxSd (kg*m)	MySd (kg*m)	VxSd (kg)	VySd (kg)	T Sd (kg*m)	N Rd kg	MxV.Rd kg*m	MyV.Rd kg*m	VxpRd Kg	VypRd Kg	T Rd kg*m	fy rid Kg/cmq	Rap %
Sez.N. HEA280	79 33	3.51	6	289	-4411	-396	-167	1577	-5	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	18	
Asta:	11 50	3.51	9	-902	-288	417	-134	-4	-1	254737	26527	8910	72278	29743	525	2619	6	
Instab.:	542.7	β*1=	379.9	289	4411	511	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	54	Rpf= 12	Rft= 21	Wmax/rel/lim=	8.9	1.5	21.7	mm	
Sez.N. HEA280	79 36	3.51	14	90	0	0	-380	-228	-4	254706	26523	8909	72278	29743	525	2619	0	
Asta:	13 46	3.51	11	-61	-358	-480	483	-452	-5	254660	26519	8907	72278	29743	525	2618	7	
Instab.:	203.6	β*1=	142.5	71	878	859	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	20	Rpf= 9	Rft= 13	Wmax/rel/lim=	2.6	0.1	8.1	mm	
Sez.N. HEA280	79 46	3.51	9	756	-906	-1028	-1477	-1707	-28	253180	26364	8855	72278	29743	525	2603	15	
Asta:	14 34	3.51	6	-257	-4585	-603	272	-5134	-55	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	20	
Instab.:	46.3	β*1=	32.4	0	0	0	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	0	Rpf= 0	Rft= 0	Wmax/rel/lim=	1.3	0.0	1.9	mm	
Sez.N. HEA280	79 50	3.51	9	-43	-373	762	375	373	1	254716	26524	8909	72278	29743	525	2619	10	
Asta:	15 39	3.51	14	-97	0	0	-131	-32	0	254739	26527	8910	72278	29743	525	2619	0	
Instab.:	203.2	β*1=	142.2	51	409	693	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	20	Rpf= 6	Rft= 9	Wmax/rel/lim=	13.7	0.1	8.1	mm	
Sez.N. HEA280	79 29	3.51	3	-1115	-8295	-1	-36	2690	0	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	28	
Asta:	16 60	3.51	3	-1115	4445	188	-36	2170	0	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	17	
Instab.:	524.3	β*1=	367.0	-1115	6221	112	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	52	Rpf= 23	Rft= 23	Wmax/rel/lim=	34.9	1.8	21.0	mm	
Sez.N. UPN200	43 38	3.51	11	114	0	32	16	11	0	84276	5004	706	7605	21551	121	2619	5	
Asta:	17 49	3.51	6	0	-566	-7	3	-551	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	10	
Instab.:	203.2	β*1=	142.2	0	566	7	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	66	Rpf= 5	Rft= 13	Wmax/rel/lim=	25.2	0.2	8.1	mm	
Sez.N. UPN200	43 49	3.51	6	30	-570	-7	-2	958	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	10	
Asta:	18 45	3.51	6	30	-802	8	-2	-1020	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	14	
Instab.:	739.1	β*1=	517.4	30	1143	8	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	241	Rpf= 15	Rft= 73	Wmax/rel/lim=	23.0	9.8	29.6	mm	
Sez.N. UPN200	43 45	3.51	6	1	-784	8	4	657	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	14	
Asta:	19 37	3.51	11	-120	0	0	4	26	0	84276	5004	706	7605	21551	121	2619	0	
Instab.:	203.6	β*1=	142.5	1	784	8	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	66	Rpf= 10	Rft= 19	Wmax/rel/lim=	22.0	0.3	8.1	mm	
Sez.N. HEA280	79 48	3.51	6	-257	7109	-249	-66	725	0	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	26	
Asta:	20 52	3.51	9	41	-183	411	-87	-923	0	254616	26514	8905	72278	29743	525	2618	5	
Instab.:	739.1	β*1=	517.4	-257	7136	100	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	73	Rpf= 25	Rft= 31	Wmax/rel/lim=	47.0	10.1	29.6	mm	
Sez.N. HEA280	79 52	3.51	9	-62	-179	411	203	242	0	254731	26526	8909	72278	29743	525	2619	5	
Asta:	21 28	3.51	13	-116	0	0	195	-61	0	254738	26527	8910	72278	29743	525	2619	2	
Instab.:	203.2	β*1=	142.2	56	164	274	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	20	Rpf= 3	Rft= 4	Wmax/rel/lim=	22.0	0.0	8.1	mm	
Sez.N. HEA280	79 60	3.51	3	-1103	4445	188	137	1710	0	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	17	
Asta:	22 48	3.51	6	-488	6117	-91	152	1208	0	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	22	
Instab.:	203.6	β*1=	142.5	-488	7120	126	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	20	Rpf= 26	Rft= 26	Wmax/rel/lim=	44.4	0.8	8.1	mm	
Sez.N. HEA280	79 48	3.51	11	756	0	0	47	60	-4	254727	26526	8909	72278	29743	525	2619	0	
Asta:	23 47	3.51	3	158	-179	-981	513	-188	-11	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	8	
Instab.:	377.5	β*1=	264.2	158	702	1936	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	37	Rpf= 8	Rft= 17	Wmax/rel/lim=	44.8	1.2	15.1	mm	
Sez.N. HEA280	79 46	3.51	10	150	-1315	1897	798	644	6	254607	26513	8905	72278	29743	525	2618	26	
Asta:	24 45	3.51	12	-227	0	0	-585	460	6	254650	26518	8907	72278	29743	525	2618	0	
Instab.:	237.8	β*1=	166.4	150	1315	1897	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	23	Rpf= 17	Rft= 26	Wmax/rel/lim=	8.8	0.4	9.5	mm	
Sez.N. HEA280	79 47	3.51	5	-123	-502	-1136	-611	-646	5	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	10	
Asta:	25 46	3.51	3	-23	-2385	-198	-427	-1168	7	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	10	
Instab.:	310.1	β*1=	217.0	227	4310	466	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	31	Rpf= 14	Rft= 18	Wmax/rel/lim=	19.2	0.7	12.4	mm	
Sez.N. HEA280	79 50	3.51	10	265	-1173	1341	564	584	-1	254681	26521	8908	72278	29743	525	2618	20	
Asta:	26 49	3.51	10	265	0	0	564	403	-1	254709	26524	8909	72278	29743	525	2619	0	
Instab.:	237.8	β*1=	166.4	265	1173	1341	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	23	Rpf= 12	Rft= 19	Wmax/rel/lim=	23.0	0.3	9.5	mm	
Sez.N. HEA280	79 51	3.51	3	128	-13604	-584	-281	3293	3	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	51	
Asta:	27 50	3.51	11	-765	-1153	-1157	597	1146	1	254532	26505	8902	72278	29743	525	2617	18	



**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo Tettoia metallica**

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FV0400 005      REV. A      FOGLIO 61 di 77

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.																			
VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D																			
DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (kg)	MxSd (kg*m)	MySd (kg*m)	VxSd (kg)	VySd (kg)	T Sd (kg*m)	N Rd kg	MxV.Rd kg*m	MyV.Rd kg*m	VxplRd Kg	VyplRd Kg	T Rd kg*m	fy rid Kg/cmq	Rap %	
Instab.:l=	310.1	β*l=	217.0		128	13604	584	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	31	Rpf=	20	Rft=	51	Wmax/rel/lim=	9.0	2.6	12.4 mm
Sez.N.	79	52	3.51	9	-764	0	0	21	-1160	4	254470	26499	8900	72278	29743	525	2616	0	
HEA280	qn=	-76	3	-56	-6733	-1105	578	-3615	10	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	31		
Asta:	28	51	3.51	3	-56	-13638	-2182	578	-3800	10	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	63	
Instab.:l=	377.5	β*l=	264.2	11	9906	2192	cl= 2 ε=	0.92	lmd=	37	Rpf=	45	Rft=	50	Wmax/rel/lim=	22.7	3.3	15.1 mm	
Sez.N.	43	28	3.51	11	149	0	0	1	-69	0	84274	5004	706	7605	21551	121	2619	0	
UPN200	qn=	-25	3	34	-586	-23	12	-338	1	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	12		
Asta:	29	40	3.51	3	34	-1271	-46	12	-399	1	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	25	
Instab.:l=	377.5	β*l=	264.2	34	1271	46	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	123	Rpf=	14	Rft=	38	Wmax/rel/lim=	11.8	2.1	15.1 mm	
Sez.N.	43	40	3.51	3	-150	-1278	-46	-18	441	1	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	25	
UPN200	qn=	-25	3	-150	-634	-17	-18	390	1	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	12		
Asta:	30	39	3.51	10	160	-80	41	-19	79	0	84274	5004	706	7605	21551	121	2619	8	
Instab.:l=	310.1	β*l=	217.0	35	1277	13	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	101	Rpf=	18	Rft=	33	Wmax/rel/lim=	13.7	1.5	12.4 mm	
Sez.N.	43	39	3.51	10	93	-80	41	30	64	0	84274	5004	706	7605	21551	121	2619	8	
UPN200	qn=	-25	14	-37	0	-29	26	0	0	84274	5004	706	7605	21551	121	2619	4		
Asta:	31	38	3.51	11	-96	0	32	-29	11	0	84274	5004	706	7605	21551	121	2619	5	
Instab.:l=	237.8	β*l=	166.4	93	80	41	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	77	Rpf=	4	Rft=	8	Wmax/rel/lim=	25.2	0.1	9.5 mm	
Sez.N.	43	37	3.51	14	114	0	0	11	38	0	84276	5004	706	7605	21551	121	2619	0	
UPN200	qn=	-25	10	99	23	-20	14	-1	0	84275	5004	706	7605	21551	121	2619	3		
Asta:	32	36	3.51	10	99	9	-34	14	-26	0	84275	5004	706	7605	21551	121	2619	5	
Instab.:l=	237.8	β*l=	166.4	99	23	34	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	77	Rpf=	3	Rft=	5	Wmax/rel/lim=	22.0	0.2	9.5 mm	
Sez.N.	43	36	3.51	10	-221	5	-34	-16	216	0	84271	5003	706	7605	21551	121	2619	5	
UPN200	qn=	-25	3	136	871	15	-19	428	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	16		
Asta:	33	35	3.51	3	136	1496	45	-19	378	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	28	
Instab.:l=	310.1	β*l=	217.0	136	1496	45	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	101	Rpf=	15	Rft=	42	Wmax/rel/lim=	28.2	1.9	12.4 mm	
Sez.N.	43	35	3.51	3	-173	1500	45	12	-335	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	29	
UPN200	qn=	-25	3	-173	798	22	12	-398	0	84276	5968	1382	29044	26051	247	2619	15		
Asta:	34	60	3.51	9	-433	0	0	3	-200	0	84272	5003	706	7605	21551	121	2619	1	
Instab.:l=	377.5	β*l=	264.2	-173	1125	27	cl= 1 ε=	0.92	lmd=	123	Rpf=	21	Rft=	34	Wmax/rel/lim=	35.5	2.7	15.1 mm	

Viene esplicitata la verifica della trave principale HEA280 maggiormente sollecitata con l'ausilio di un foglio di excel preprogrammato facente parte della suite SAITU della STADATA:

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.																		
VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D																		
DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (kg)	MxSd (kg*m)	MySd (kg*m)	VxSd (kg)	VySd (kg)	T Sd (kg*m)	N Rd kg	MxV.Rd kg*m	MyV.Rd kg*m	VxplRd Kg	VyplRd Kg	T Rd kg*m	fy rid Kg/cmq	Rap %
Sez.N.	79	52	3.51	9	-764	0	0	21	-1160	4	254470	26499	8900	72278	29743	525	2616	0
HEA280	qn=	-76	3	-56	-6733	-1105	578	-3615	10	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	31	
Asta:	28	51	3.51	3	-56	-13638	-2182	578	-3800	10	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	63
Instab.:l=	377.5	β*l=	264.2	11	9906	2192	cl=2 ε=	0.92	lmd=	37	Rpf=	45	Rft=	50	Wmax/rel/lim=	22.7	3.3	15.1 mm
STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - ACCIAIO																		
VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D																		
DATI DI ASTA	Fili N.ro	Quota (m)	Tra tto	Cmb N.r	N Sd (kg)	MxSd (kg*m)	MySd (kg*m)	VxSd (kg)	VySd (kg)	T Sd (kg*m)	N Rd kg	MxV.Rd kg*m	MyV.Rd kg*m	VxplRd Kg	VyplRd Kg	T Rd kg*m	fy rid Kg/cmq	Rap %
Sez.N.	79	52	3.51	9	-271	0	0	119	-1175	4	254465	26498	8900	72278	29743	525	2616	0
HEA280	qn=	-76	16	81	-2425	-420	220	-1341	4	254397	26491	8898	72278	29743	525	2616	14	
Asta:	28	51	3.51	16	81	-5054	-830	220	-1483	4	254331	26484	8895	72278	29743	525	2615	28
Instab.:l=	377.5	β*l=	264.2	81	5054	830	cl=2 ε=	0.92	lmd=	37	Rpf=	19	Rft=	28				

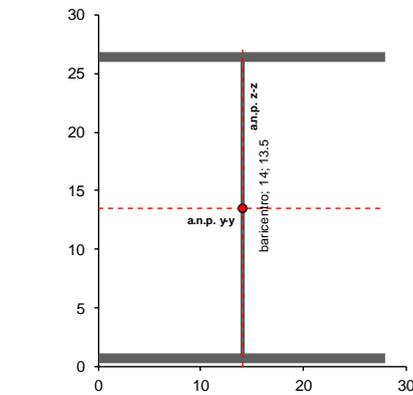
**ASTA SOGGETTA A FLESSIONE BIASSIALE, COMPRESSIONE E TAGLIO**  
( sezione uniforme a doppia simmetria )

**METODO DI CALCOLO IN ACCORDO CON EN 1993-1-1 e NTC 2008**

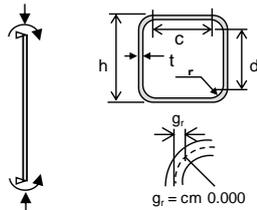
MATERIALE	S 275 N(H)	$f_y = 27.50$ kN/cm <sup>2</sup>	$\epsilon = 0.92$	coeff. di sicur. $\gamma_{M0} = 1.05$
TIPO SEZIONE	LAMINATA	ELEMENTO TRAVE	PROFILO HEA	280 $d_w = \text{cm}$ 0

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO :			resistenza	stabilità
combinazione non sismica	Momento principale	$M_{y,Ed} =$ kNcm	13638	13638
	Taglio principale	$V_{z,Ed} =$ kN	38	38
	Momento laterale	$M_{z,Ed} =$ kNcm	2182	2182
	Taglio laterale	$V_{y,Ed} =$ kN	5.78	
	Compressione	$N_{Ed} =$ kN	0	0

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE :**



$d_{Gy} = \text{dist. baric. orizz.} = \text{cm}$  0.00  
 $d_{Gz} = \text{dist. baric. vert.} = \text{cm}$  0.00



Altezza totale sezione (h)	cm	27
Larghezza piattab. sup. (b <sub>1</sub> )	cm	28
Larghezza piattab. inf. (b <sub>2</sub> )	cm	28
Spessore anima (t <sub>w</sub> )	cm	0.8
Spessore piattab. sup. (t <sub>1</sub> )	cm	1.3
Spessore piattab. inf. (t <sub>2</sub> )	cm	1.3
Raccordo anima-piattab. (r)	cm	2.4
Altezza netta anima (d)	cm	19.6
Sporgenza ala superiore (c <sub>1</sub> )	cm	11.20
Sporgenza ala inferiore (c <sub>2</sub> )	cm	11.20
Area tot. della sezione (A)	cm <sup>2</sup>	97.26
Posiz. asse baricentrico (z <sub>G</sub> )	cm	13.50
Pos. asse neutro plastico (z <sub>n</sub> )	cm	13.50
Pos. a.n.p. per flessione (d <sub>2</sub> )	cm	13.50
Pos. asse neutro plastico (y <sub>n</sub> )	cm	14.00
Momento di inerzia max. (J <sub>y</sub> )	cm <sup>4</sup>	13670
Momento di inerzia min. (J <sub>z</sub> )	cm <sup>4</sup>	4763
Momento di inerzia tors. (J <sub>t</sub> )	cm <sup>4</sup>	62
W <sub>ys</sub> esterno piattab. sup.	cm <sup>3</sup>	1013
W <sub>yl</sub> esterno piattab. inf.	cm <sup>3</sup>	1013
W <sub>ysa</sub> estremità racc. anima	cm <sup>3</sup>	1395
W <sub>y,el,min</sub> = MIN (W <sub>ys</sub> , W <sub>yl</sub> )	cm <sup>3</sup>	1013
W <sub>zs</sub> esterno piattabande	cm <sup>3</sup>	340
W <sub>zc</sub> sez. racc. ala-anima	cm <sup>3</sup>	1701
W <sub>ply</sub>	cm <sup>3</sup>	1112
W <sub>pl,z</sub>	cm <sup>3</sup>	518

**CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE**

Rapporto larghezza / spessore :	anima	$d/t_w = 24.50$	
	ali sporgenti	$c/t_f = 8.62$	
	elementi interni	$c/t = 0.00$	per sezione scatolare
Rapp. limite larghezza/spessore anima :	presso-fless.		anima
asse neutro elastico = cm 13.500	classe 1	66.56	$\alpha_d = 0.500 = a_c / d$
coefficiente di adattamento 1.000	classe 2	76.73	$\psi_d = -1.000 = \sigma_T / \sigma_c$
	classe 3	114.63	$\psi_y = -1$
			<b>classe dell'anima 1</b>
Rapp. limite larghezza/spessore piattab.	ali sporgenti		ali sporgenti
asse neutro elastico = cm 0.562	classe 1	8.32	$\alpha_c = 1.000$
coefficiente di adattamento 0.000	classe 2	9.24	$\psi_c = 0.592$
	classe 3	13.31	$\psi_z = -0.02048$
	$k_s = 0.4702369$		<b>classe piattabanda 2</b>
	<b>CLASSE SEZIONE</b>	<b>2</b>	

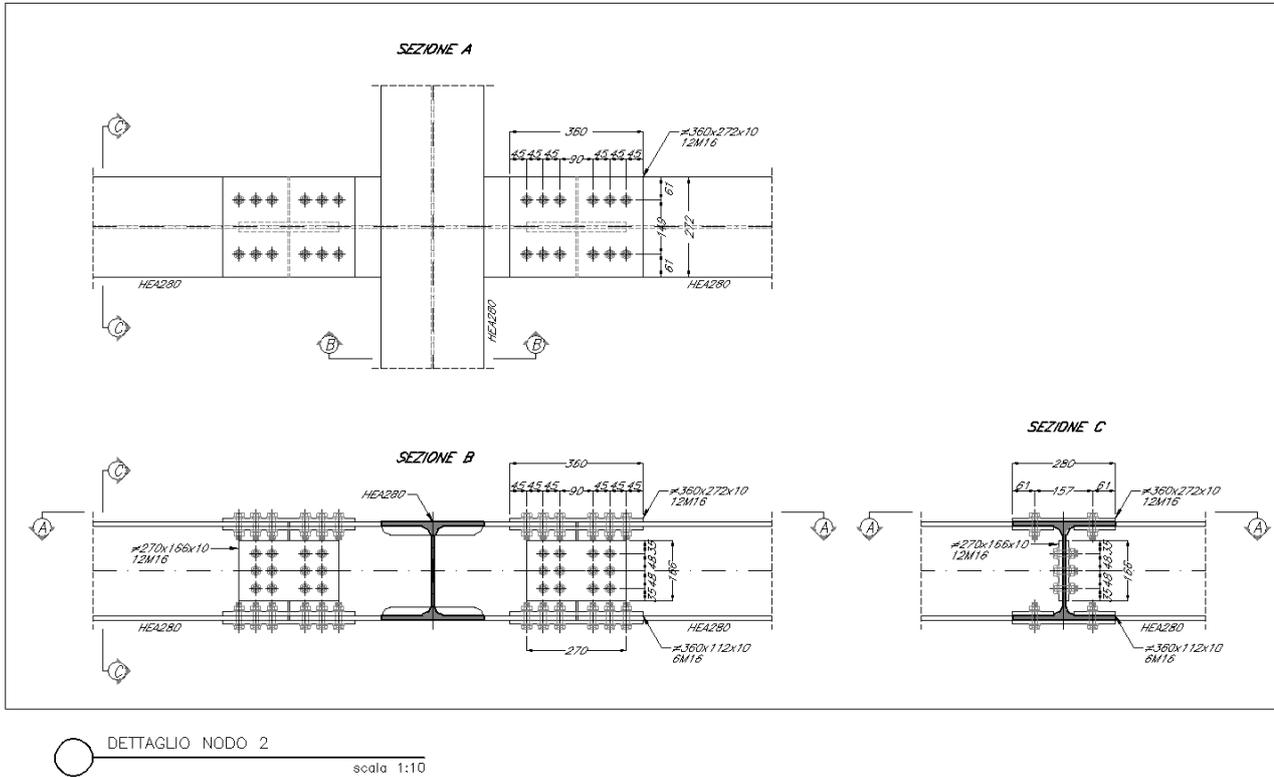
VERIFICA DI RESISTENZA			
Area di taglio nel piano principale :	$A_{vz} = \eta' \cdot h_w \cdot t_w \text{ o } \eta'' \cdot A$	$A_{vz} =$	31.74 cm <sup>2</sup>
Area di taglio nel piano laterale :	$A_{vy} = \eta' \cdot b_f \cdot t_f \text{ o } \eta'' \cdot A$	$A_{vy} =$	77.74 cm <sup>2</sup>
<b>Resist. plastica di progetto a taglio :</b>	$V_{z,pl,Rd} = A_{vz} \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0}$	$V_{z,pl,Rd} =$	480 kN
	$V_{y,pl,Rd} = A_{vy} \cdot (f_y / 3^{1/2}) / \gamma_{M0}$	$V_{y,pl,Rd} =$	1176 kN
$V_{z,Ed} < 50\% V_{z,pl,Rd}$	$\rho_z = (2 \cdot V_{z,Ed} / V_{z,pl,Rd} - 1)^2$	$\rho_z =$	0.000
$V_{y,Ed} < 50\% V_{y,pl,Rd}$	$\rho_y = (2 \cdot V_{y,Ed} / V_{y,pl,Rd} - 1)^2$	$\rho_y =$	0.000
Verifica di resistenza per sezione di classe <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</span>		$A_{wz} =$	19.52 cm <sup>2</sup>
		$f_d = f_y / \gamma_{M0} =$	26.19 kN/cm <sup>2</sup>
		$W_{pl,y,fl} =$	935 cm <sup>3</sup>
$r_y = 1.000$	$n = 0.000$	$a_w = 0.251$	$M_{N,y,Rd} = W_y \cdot f_{d,rid} =$ 29124 kNcm
$r_z = 1.000$	$n = 0.000$	$a_f = 0.500$	$M_{N,z,Rd} = W_z \cdot f_{d,rid} =$ 13567 kNcm
$N_{1,y,Rd} = 0.25 \cdot N_{pl,Rd} = 637$	$N_{2,y,Rd} = \eta_w \cdot t_w \cdot f_d / 2 = 256$	$N_{Ed} \leq N_{y,Rd} \text{ (cl } \leq 2) =$	0 kN
$N_{Ed} < \min(N_{1,y,Rd}; N_{2,y,Rd})$	NO forza assiale	$N_{y,Rd} = A_{wz} \cdot (1-\rho) \cdot f_y$	537 kN
NO taglio : cl. $\leq 2$	$[M_{y,Ed} / M_{N,y,Rd}]^{\alpha} + [M_{z,Ed} / M_{N,z,Rd}]^{\beta}$	$\alpha =$	1.000
NO taglio : cl. $\leq 4$	$[N_{Ed} / A + M_{y,Ed} / W_y + M_{z,Ed} / W_z] / f_d$	$R_{M,N} =$	0.629 < 1
con taglio : cl. $\leq 2$	$[W_{pl,y} - 1 / (4 \cdot \eta_w \cdot t_w) \cdot (\rho \cdot A_{wz}^2 + N_{Ed}^2 / (1-\rho) / f_y^2)] \cdot f_d < M_{N,y,Rd}$		
con taglio : cl. $> 3$	$[N_{Ed} / A_{rid,V} + M_{y,Ed} / W_{y,rid,V} + M_{z,Ed} / W_{z,rid,V}] / f_d$	$M_{N,y,Rd} =$	----- kNcm
$N_{z,Rd} = \eta_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_d = 511$	$N_{Ed} < N_{z,Rd}$	$M_{N,z,Rd} =$	----- kNcm
$V_{z,Ed} > 50\% V_{pl,Rd}$	resistenza area di taglio ridotta del fattore (1- $\rho$ )	$R_{M,N,V} =$	< 1

Il coefficiente di impegno della sezione risulta essere identico a quello determinato in automatico dal programma di calcolo agli e.f.

### 12.1.1 Verifica delle connessioni

#### 12.1.1.1 Giunto e coprigiunto HEA280

Tale giunto ha le seguenti caratteristiche geometriche desunte dagli elaborati grafici di progetto.



**Figura 32: connessione giunto-coprigiunto HEA280**

Per la verifica si determinano dal modello le massime caratteristiche di sollecitazione nel nodo di connessione tra le travi HEA280 - HEA280

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.V. - ACCIAIO + VERIFICA S.L.E.

VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D

DAI	DI	Fili	Quota	Tra	Cmb	N	Mx	My	Vx	Vy	T	N	MxV	MyV	Vxpl	Vypl	T	f <sub>y</sub>	Rap			
ASTA	N.ro	(m)	cto	N.r	(kg)	(kg*m)	(kg*m)	(kg)	(kg)	(kg*m)	kg	kg	kg*m	kg*m	Kg	Kg	kg*m	Kg/cmq	%			
Sez.N.	79	52	3.51	9	-764	0	0	21	-1160	4	254470	26499	8900	72278	29743	525	2616	0				
HEA280	qn=	-76	3	-56	-6733	-1105	578	-3615	10	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	31					
Asta:	28	51	3.51	3	-56	-13638	-2182	578	-3800	10	254739	29130	13570	117561	48002	834	2619	63				
Instab.	l=	377.5	Δ*1=	264.2	11	9906	2192	cl=	2	ε=	0.92	lmd=	37	Rpf=	45	Rft=	50	Wmax/rel/lim=	22.7	3.3	15.1	mm

STAMPA PROGETTO S.L.U. - AZIONI S.L.D. - ACCIAIO

VERIFICHE ASTE IN ACCIAIO 3D

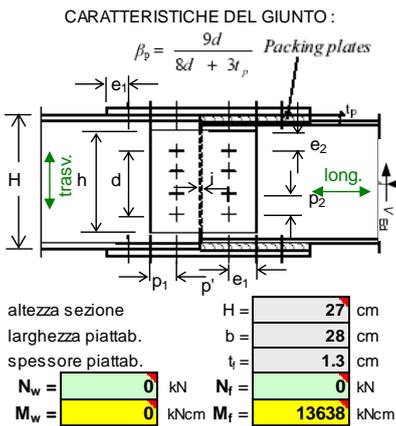
DAI	DI	Fili	Quota	Tra	Cmb	N	Mx	My	Vx	Vy	T	N	MxV	MyV	Vxpl	Vypl	T	f <sub>y</sub>	Rap
ASTA	N.ro	(m)	cto	N.r	(kg)	(kg*m)	(kg*m)	(kg)	(kg)	(kg*m)	kg	kg	kg*m	kg*m	Kg	Kg	kg*m	Kg/cmq	%
Sez.N.	79	52	3.51	9	-271	0	0	119	-1175	4	254465	26498	8900	72278	29743	525	2616	0	
HEA280	qn=	-76	16	81	-2425	-420	220	-1341	4	254397	26491	8898	72278	29743	525	2616	14		
Asta:	28	51	3.51	16	81	-5054	-830	220	-1483	4	254331	26484	8895	72278	29743	525	2615	28	
Instab.	l=	377.5	Δ*1=	264.2	81	5054	830	cl=	2	ε=	0.92	lmd=	37	Rpf=	19	Rft=	28		

**VERIFICA UNIONE BULLONATA DI CONTINUITA' - STATI LIMITE**    DISTRIBUZIONE PLASTICA DELLE FORZE

ELEMENTI DEL GIUNTO : in accordo con EN 1993-1-8 ; NTC 2018 ; NCCI - SN023

PROFILO : tipo : (1,2,3,4,5) <b>2</b>		S 275 EN 10025	$f_y = 27.50$ kN/cm <sup>2</sup>	$f_u = 43.00$ kN/cm <sup>2</sup>
giunto tipo	senza imbottiture semplice o doppio coprigiunto piattab.	con imbottiture di sp. anima : cm piattab. cm	senza coprigiunto piattab. momento e taglio su coprigiunto anima	
PIATTI : (1,2,3,4,5) <b>2</b>		S 275 EN 10025	$f_y = 27.50$ kN/cm <sup>2</sup>	$f_u = 43.00$ kN/cm <sup>2</sup>
BULLONI : (A,B,C) <b>A</b>		RESISTENZA A TAGLIO	DIAM. BULL. - FORI (mm)	<b>16</b> <b>18</b>
in fila semplice	allineati su più file	sfalsati	CLASSE BULLONI	<b>CL.</b> <b>8.8</b>
anima	anima	anima	AREA SEZIONE (cm <sup>2</sup> )	gambo 2.01 filetto 1.57
n° bull.	n° bull. : <b>6</b>	n° bull.	RESIST. A ROTTURA	$f_{ub}$ (kN/cm <sup>2</sup> ) 80.00
			FORZA DI PRECARICO	$F_{p,Cd}$ (kN) <b>87.82</b>

<b>SOLLECITAZIONI DI PROGETTO</b>	$V_{Ed,ut.} = 38$ kN	$V_{Ed.serv.} = 15$ kN
sezione scatolare ? (S,N)	$M_{Ed,ut.} = 13638$ kNcm	$M_{Ed.serv.} = 5054$ kNcm
n° piatt. di giunto anima	$N_{Ed,ut.} = 0$ kN	$N_{Ed.serv.} = 0$ kN



N° file trasversali bulloni	N° file = <b>2</b>	anima	piattabanda
N° bulloni su l fila trasv.	n (>= 2) = <b>3</b>		
Bulloni allineati ? (S,N)	<b>S</b>		
Largh. piatto di giunto	h = cm	<b>16.6</b>	<b>28</b>
Dist. l fila bull.- asse	$a_2 =$ cm	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>
Passo trasv. bulloni	$p_2 =$ cm	<b>4.8</b>	<b>15.7</b>
Passo longit. bulloni	$p_1 =$ cm	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>
Dist. long. da bordo est.	$e_1 =$ cm	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>
Dist. tras. da bordo est.	$e_2 =$ cm	<b>3.50</b>	<b>6.10</b>
Interspazio elementi	i = cm	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>
Dist. trasv. bull. estremi	d = cm	<b>9.60</b>	<b>15.80</b>
Area della sezione minore	A = cm <sup>2</sup>	<b>97.3</b>	
Spessore piatt. di giunto anima	$t_{w,cm}$	<b>1</b>	
Spessore piatt. di giunto piattab.	$t_{f,cm}$	<b>1</b>	
Spessore anima elem. collegato	$t_w,cm$	<b>0.8</b>	
parte di N e 100% M su flange			
Coeff. di distrib. lineare delle forze : f =			<b>1.000</b>

<b>FORZA RISULTANTE TOTALE SUI BULLONI :</b>		ANIMA : $F_{v,Ed,w} =$ kN	<b>6.3</b>	gruppo	<b>38.0</b>
<b>PIATTABANDE CON DOPIO COPRIGIUNTO</b>		PIATTABANDA : $F_{v,Ed,f} =$ kN	<b>88.4</b>	singolo	<b>530.7</b>
EN 1993-1-8 - & 3.6.1 (12) - coeff. di riduz per imbottiture		$\beta_p =$ web 1.00 flange 1.00		singolo	gruppo
3.6.1	RESISTENZA A TAGLIO DEI BULLONI : $\gamma_{M2} = 1.25$	ANIMA : $F_{v,Rd,w} =$ kN	<b>120.4</b>	<b>722.7</b>	
	$F_{v,Ed,i} \leq F_{v,Rd,i}$ n° piatt. giunto flange = <b>2</b>	PIATTAB. : $F_{v,Rd,f} =$ kN	<b>120.4</b>	<b>722.7</b>	
$k_{1,w} = 2.033$	$k_{1,f} = 2.500$	$\alpha_w = 0.787$	<b>0.583</b>	$\alpha_f = 0.787$	<b>0.583</b>
3.6.1	RESISTENZA AL RIFOLLAMENTO : $V_{Rd,wgr.} =$ kN <b>368.1</b>	ANIMA : $F_{b,Rd,w} =$ kN	ext <b>70.5</b>	int <b>52.2</b>	
	$F_{v,Ed,i} \leq F_{b,Rd,i}$ $V_{Rd,f,gr.} =$ kN <b>699.0</b>	PIATTAB. : $F_{b,Rd,f} =$ kN	ext <b>140.8</b>	int <b>104.3</b>	
$k_{1,wp} = 2.033$	$k_{1,fp} = 2.500$	$\alpha_{wp} = 0.833$	<b>0.583</b>	$\alpha_{fp} = 0.833$	<b>0.583</b>
3.6.1	RIFOLLAMENTO PIATTI DI GIUNTO : $V_{Rd,wp,gr.} =$ kN <b>722.7</b>	ANIMA : $F_{b,Rd,w} =$ kN	ext <b>186.5</b>	int <b>130.6</b>	
	$F_{v,Ed,i} \leq F_{b,Rd,i}$ $V_{Rd,fp,gr.} =$ kN <b>722.7</b>	PIATTAB. : $F_{b,Rd,f} =$ kN	ext <b>229.3</b>	int <b>160.5</b>	
EN 1993-1-1 6.3.1.2 - 6.2.3	RESISTENZA A COMPRESIONE DEI PIATTI DI GIUNTO : $N_{b,Rd,fp} = \chi \frac{A_{fp} f_{y,p}}{\gamma_{M1}}$ $L_{cr} = 0.6 \cdot p'$	$\gamma_{M1} = 1.05$	$p'_{1w}/t_w = 9.00$	$p'_{1f}/t_f = 9.00$	
	ANIMA : $N_{b,Ed,w} = 0.0$ kN	$\chi_w = 0.99$		$\chi_f = 0.99$	
	PIATTAB. : $N_{b,Ed,f} = 265.3$ kN	$N_{b,Rd,w} = 346.8$ kN		$N_{b,Rd,f} = 733.3$ kN	

### 13 GIUNTI SISMICI

La [3] al par. 7.2.1. recita “La distanza tra costruzioni contigue deve essere tale da evitare fenomeni di martellamento e comunque non può essere inferiore alla somma degli spostamenti massimi determinati per lo SLV, calcolati per ciascuna costruzione secondo il § 7.3.3 (analisi lineare) o il § 7.3.4 (analisi non lineare) e tenendo conto, laddove significativo, dello spostamento relativo delle fondazioni delle due costruzioni contigue, secondo quanto indicato ai §§ 3.2.4.1, 3.2.4.2 e 7.3.5;

La distanza tra due punti di costruzioni che si fronteggiano non potrà in ogni caso essere inferiore a 1/100 della quota dei punti considerati, misurata dallo spiccatto della fondazione o dalla sommità della struttura scatolare rigida di cui al § 7.2.1, moltiplicata per  $2a_g S/g \leq 1$ .

Qualora non si possano eseguire calcoli specifici, lo spostamento massimo di una costruzione non isolata alla base può essere stimato in 1/100 della sua altezza, misurata come sopra, moltiplicata per  $agS/g$ ; in questo caso, la distanza tra costruzioni contigue non potrà essere inferiore alla somma degli spostamenti massimi di ciascuna di esse.

Nel caso di specie è previsto un giunto tecnico di 50mm tra i tre corpi di fabbrica del complesso fabbricato viaggiatori – tettoia – fabbricato tecnologico. Come rappresentato negli elaborati grafici di progetto il giunto è strutturalmente più ampio (circa 150 mm) ma lo spessore delle finiture architettoniche che rivestono le parti strutturali rendono l’ampiezza “libera del giunto” pari a 50 mm.

L’altezza dal piano delle fondazioni della tettoia metallica che è la struttura con cui si “fronteggiano” i tre “corpi di fabbrica” è pari a 5.00 m circa per cui si ha:

$$\Delta_1 = \Delta_2 = h/100 \cdot a_g S/g = 500/100 \times 0.148 \times 1.476 = 1.09 \text{ cm}$$

$$\Delta_1 + \Delta_2 = 21.8 \text{ mm} < 50\text{mm}$$

In base ai risultati del modello di calcolo alla quota della tettoia metallica l’edificio viaggiatori presenta i seguenti spostamenti (nodi 22 e 23):

SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)											
Sisma Direzione X $\mu_d=2.57$ - Direzione Y $\mu_d=3.13$											
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
1	3.66	10	26.52	14.21	26.55	2	3.66	11	26.53	15.34	27.43
3	3.66	12	20.19	15.35	21.35	4	3.66	13	17.74	13.23	18.29
5	3.66	14	17.76	15.20	18.06	6	3.66	15	19.15	14.12	20.14
7	4.51	16	21.91	16.16	22.58	8	4.51	17	21.91	16.98	22.22
27	3.66	18	24.52	14.18	24.64	53	3.66	19	24.52	15.41	25.70
57	3.66	20	27.35	15.41	27.86	56	3.66	21	27.35	14.21	27.38
59	3.66	22	27.33	15.34	28.20	58	3.66	23	29.32	15.34	30.14
55	3.66	24	29.32	14.21	29.35	54	3.66	25	29.32	15.41	29.39
1	4.51	26	29.79	16.16	29.83	2	4.51	27	29.79	16.98	30.75
3	4.51	28	23.84	16.98	25.04	4	4.51	29	22.05	16.16	22.72
5	4.51	30	22.05	16.98	22.37	6	4.51	31	23.85	16.16	24.83
27	4.51	32	28.06	16.16	28.11						

Analogamente dal modello di calcolo della tettoia metallica si desumono gli spostamenti massimi per i nodi “opposti” (nodi 25 e 26) a quelli del fabbricato viaggiatori oggetto della presente relazione da cui:

SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)											
Sisma Direzione X $\mu_d=2.26$ - Direzione Y $\mu_d=2.65$											
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
25	3.51	2	3.81	1.05	3.88	26	3.51	4	4.60	0.71	4.60
29	3.51	6	19.78	4.50	19.95	35	3.51	7	7.15	0.74	7.15
47	3.51	8	4.37	0.74	4.40	31	3.51	9	4.25	0.71	4.25
32	3.51	10	4.96	0.71	4.96	51	3.51	11	5.11	0.72	5.11
40	3.51	12	9.94	0.72	9.95	33	3.51	13	3.54	1.05	3.62
50	3.51	14	5.14	1.12	5.27	34	3.51	15	4.08	1.05	4.15
36	3.51	16	7.15	1.05	7.23	46	3.51	17	4.33	1.05	4.40
39	3.51	18	9.95	1.12	9.99	60	3.51	19	7.16	4.54	7.16
38	3.51	20	9.96	11.23	14.20	49	3.51	21	5.15	11.22	12.35
45	3.51	22	4.33	11.20	11.76	37	3.51	23	7.16	11.20	13.30
48	3.51	24	4.40	4.55	5.16	52	3.51	25	5.14	4.57	5.26
28	3.51	26	9.95	4.57	10.29						

Lo spostamento complessivo massimo in controfase tra i due "corpi" è quindi pari a:

$$29.32 + 9.95 = 39.7 \text{ mm} < d_{\min} = 50 \text{ mm}$$

Nel caso invece tra tettoia e fabbricato tecnologico i nodi di riferimento sono:

Fabbricato tecnologico (nodo 41):

SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)											
Sisma Direzione X $\mu_d=5.98$ - Direzione Y $\mu_d=2.48$											
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
9	2.97	17	10.86	19.13	19.43	10	4.93	18	16.57	29.89	30.43
11	4.93	19	16.57	27.92	28.49	12	4.93	20	16.57	26.21	26.54
13	4.93	21	16.57	27.72	28.20	14	4.93	22	16.57	29.52	29.97
15	4.93	23	16.57	31.32	31.75	16	2.97	24	9.26	17.46	17.85
17	4.93	25	15.41	29.52	29.87	18	4.93	26	15.41	27.72	28.09
19	4.93	27	15.41	26.21	26.73	20	3.53	28	12.24	17.80	18.01
21	3.53	29	12.33	19.40	19.57	22	2.97	30	10.74	19.14	19.27
23	2.97	31	9.21	15.41	15.87	24	2.97	32	11.29	15.42	16.03
9	3.53	33	13.48	22.77	23.33	16	4.93	34	15.41	31.32	31.65
22	3.53	35	12.47	22.77	22.91	23	3.53	36	10.62	18.33	18.91
24	3.53	37	13.76	18.36	19.19	30	3.53	38	12.28	18.33	18.53
42	3.53	39	12.50	18.33	18.42	43	3.53	40	12.27	18.33	18.51
41	3.53	41	12.51	22.77	22.85	44	3.53	42	12.58	22.77	22.89
2	3.53	43	12.51	19.40	19.48	1	3.53	44	12.32	19.40	19.54
9	4.93	45	16.57	31.87	32.37	20	4.93	46	15.41	27.92	28.18
21	4.93	47	15.41	29.89	30.13	22	4.93	48	15.41	31.87	32.10
23	4.93	49	14.59	25.67	26.24	24	4.93	50	16.54	25.72	26.24
9	9.16	51	27.85	59.26	60.13	10	9.16	52	27.85	54.68	55.63
11	9.16	53	27.85	50.11	51.14	12	9.16	54	27.85	45.55	46.67
13	9.16	55	27.85	44.16	44.80	14	9.16	56	27.85	45.63	46.26
15	9.16	57	27.85	47.12	47.72	16	9.16	58	26.46	47.12	47.77
17	9.16	59	26.46	45.63	46.31	18	9.16	60	26.46	44.16	44.86
19	9.16	61	26.46	45.55	45.96	20	9.16	62	26.46	50.11	50.49
21	9.16	63	26.46	54.68	55.03	22	9.16	64	26.46	59.26	59.58
23	9.16	65	26.46	47.95	48.59	24	9.16	66	27.85	47.95	48.55
30	9.16	67	26.46	51.86	52.22	24	0.99	72	2.87	5.09	5.10
3	0.99	73	2.94	5.09	5.12	4	0.99	74	3.02	5.10	5.22

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione di calcolo Tettoia metallica**

COMMESSA IV01      LOTTO 00      CODIFICA D 26 CL      DOCUMENTO FV0400 005      REV. A      FOGLIO 68 di 77

**SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)**

Sisma Direzione X $\mu_d=5.98$ - Direzione Y $\mu_d=2.48$											
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
5	0.99	75	3.07	5.10	5.26	6	0.99	76	3.12	5.10	5.30
23	0.99	77	3.22	5.10	5.39	24	1.98	78	6.59	10.24	10.39
3	1.98	79	6.45	10.23	10.49	4	1.98	80	6.38	10.23	10.54
5	1.98	81	6.25	10.23	10.56	6	1.98	82	6.23	10.24	10.55
23	1.98	83	6.56	10.26	10.52	3	2.97	84	10.50	15.41	16.00
4	2.97	85	9.84	15.40	15.93	5	2.97	86	9.41	15.39	15.87
6	2.97	87	9.15	15.40	15.84	22	0.99	92	3.29	6.32	6.83
7	0.99	93	3.23	6.32	6.55	8	0.99	94	3.13	6.33	6.43
25	0.99	95	3.11	6.33	6.36	26	0.99	96	3.09	6.32	6.32
9	0.99	97	3.01	6.32	6.47	22	1.98	98	6.88	12.72	13.01
7	1.98	99	6.64	12.70	12.93	8	1.98	100	6.45	12.70	12.88
25	1.98	101	6.47	12.70	12.81	26	1.98	102	6.60	12.70	12.75
9	1.98	103	6.73	12.72	12.73	7	2.97	104	10.09	19.12	19.30
8	2.97	105	9.77	19.11	19.31	25	2.97	106	9.88	19.11	19.33
26	2.97	107	10.25	19.12	19.36	3	3.53	108	12.63	18.34	19.09
4	3.53	109	11.70	18.33	18.95	5	3.53	110	11.14	18.32	18.87
6	3.53	111	10.76	18.32	18.84	7	3.53	112	11.88	22.76	22.95
8	3.53	113	11.55	22.75	22.98	25	3.53	114	11.72	22.75	23.01
26	3.53	115	12.27	22.76	23.14	24	4.23	116	15.89	22.04	22.90
3	4.23	117	14.72	22.02	22.82	4	4.23	118	13.86	22.00	22.69
5	4.23	119	13.23	21.99	22.59	6	4.23	120	12.75	21.99	22.56
23	4.23	121	12.55	22.00	22.60	3	4.93	122	16.38	25.69	26.43
4	4.93	123	15.83	25.67	26.37	5	4.93	124	15.24	25.66	26.29
6	4.93	125	14.79	25.66	26.24	22	4.23	126	14.13	27.33	27.50
7	4.23	127	13.77	27.31	27.54	8	4.23	128	13.63	27.31	27.57
25	4.23	129	13.88	27.31	27.68	26	4.23	130	14.42	27.31	27.76
9	4.23	131	15.85	27.33	28.00	7	4.93	132	15.47	31.87	32.13
8	4.93	133	15.57	31.87	32.25	25	4.93	134	15.84	31.87	32.28
26	4.93	135	16.13	31.87	32.32	24	5.99	136	18.87	31.24	31.61
3	5.99	137	18.77	31.23	31.89	4	5.99	138	18.58	31.23	31.90
5	5.99	139	18.13	31.23	31.85	6	5.99	140	17.86	31.23	31.78
23	5.99	141	17.73	31.23	31.73	24	7.05	142	22.01	36.80	37.31
3	7.05	143	21.62	36.80	37.35	4	7.05	144	21.29	36.80	37.46
5	7.05	145	20.93	36.80	37.41	6	7.05	146	20.88	36.80	37.35
23	7.05	147	20.92	36.81	37.30	24	8.10	148	25.21	42.38	43.04
3	8.10	149	24.56	42.38	42.98	4	8.10	150	24.05	42.37	42.93
5	8.10	151	23.74	42.37	43.02	6	8.10	152	23.78	42.38	42.98
23	8.10	153	23.96	42.38	42.76	3	9.16	154	27.32	47.95	48.54
4	9.16	155	26.82	47.95	48.53	5	9.16	156	26.49	47.95	48.49
6	9.16	157	26.44	47.95	48.61	22	5.99	158	17.97	38.71	39.07
7	5.99	159	18.16	38.70	39.10	8	5.99	160	18.31	38.70	39.13
25	5.99	161	18.56	38.70	39.08	26	5.99	162	18.62	38.70	39.09
9	5.99	163	18.54	38.71	39.05	22	7.05	164	21.07	45.56	45.83
7	7.05	165	21.04	45.55	45.88	8	7.05	166	21.05	45.55	45.92
25	7.05	167	21.26	45.55	46.06	26	7.05	168	21.43	45.55	46.10
9	7.05	169	21.55	45.56	46.04	22	8.10	170	24.16	52.41	52.67
7	8.10	171	23.87	52.41	52.75	8	8.10	172	23.78	52.40	52.93
25	8.10	173	24.04	52.40	52.98	26	8.10	174	24.50	52.41	53.07
9	8.10	175	25.16	52.41	53.21	7	9.16	176	26.44	59.26	59.65
8	9.16	177	26.49	59.26	59.83	25	9.16	178	26.82	59.26	59.91
26	9.16	179	27.32	59.26	60.01						

Tettoia metallica (nodo 23):

SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)											
Sisma Direzione X $\mu_d=2.26$ - Direzione Y $\mu_d=2.65$											
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
25	3.51	2	3.81	1.05	3.88	26	3.51	4	4.60	0.71	4.60
29	3.51	6	19.78	4.50	19.95	35	3.51	7	7.15	0.74	7.15
47	3.51	8	4.37	0.74	4.40	31	3.51	9	4.25	0.71	4.25
32	3.51	10	4.96	0.71	4.96	51	3.51	11	5.11	0.72	5.11
40	3.51	12	9.94	0.72	9.95	33	3.51	13	3.54	1.05	3.62
50	3.51	14	5.14	1.12	5.27	34	3.51	15	4.08	1.05	4.15
36	3.51	16	7.15	1.05	7.23	46	3.51	17	4.33	1.05	4.40
39	3.51	18	9.95	1.12	9.99	60	3.51	19	7.16	4.54	7.16
38	3.51	20	9.96	11.23	14.20	49	3.51	21	5.15	11.22	12.35
45	3.51	22	4.33	11.20	11.76	37	3.51	23	7.16	11.20	13.30
48	3.51	24	4.40	4.55	5.16	52	3.51	25	5.14	4.57	5.26
28	3.51	26	9.95	4.57	10.29						

Lo spostamento complessivo massimo in controfase tra i due "corpi" è quindi pari a:

$$12.51 + 7.16 = 19.67 \text{ mm} < d_{\min} = 50 \text{ mm}$$

**Pertanto il giunto tecnico previsto di 5 cm risulta adeguato ad evitare il martellamento strutturale.**

## 14 VERIFICHE DELLE FONDAZIONI

### 14.1 Generalità

Per ogni stato limite ultimo è stata rispettata la condizione generale:

$$E_d \leq R_d$$

 dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

 Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ .

Nelle verifiche di sicurezza eseguite, sono stati presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Poiché la fondazione in progetto è costituita da una platea in c.a., gli stati limite ultimi si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione.

Le verifiche sono state effettuate nei confronti dei seguenti stati limite:

*SLU di tipo geotecnico (GEO)*

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
- collasso per scorrimento sul piano di posa

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- Raggiungimento della resistenza ultima negli elementi strutturali

Le verifiche geotecniche devono essere eseguite seguendo uno dei 2 approcci elencati nel seguito, utilizzando i coefficienti parziali riportati nella tabella sotto:

Approccio 1:

- Combinazione 1 (A1+M1+R1)
- Combinazione 2 (A2+M2+R2)

Approccio 2:

- Combinazione 1 (A1+M1+R3)

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto nel § 6.8, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

## 14.2 Verifiche geotecniche

La pressione di contatto con il terreno rappresentata nelle figure seguenti per le principali combinazioni di calcolo SLV.

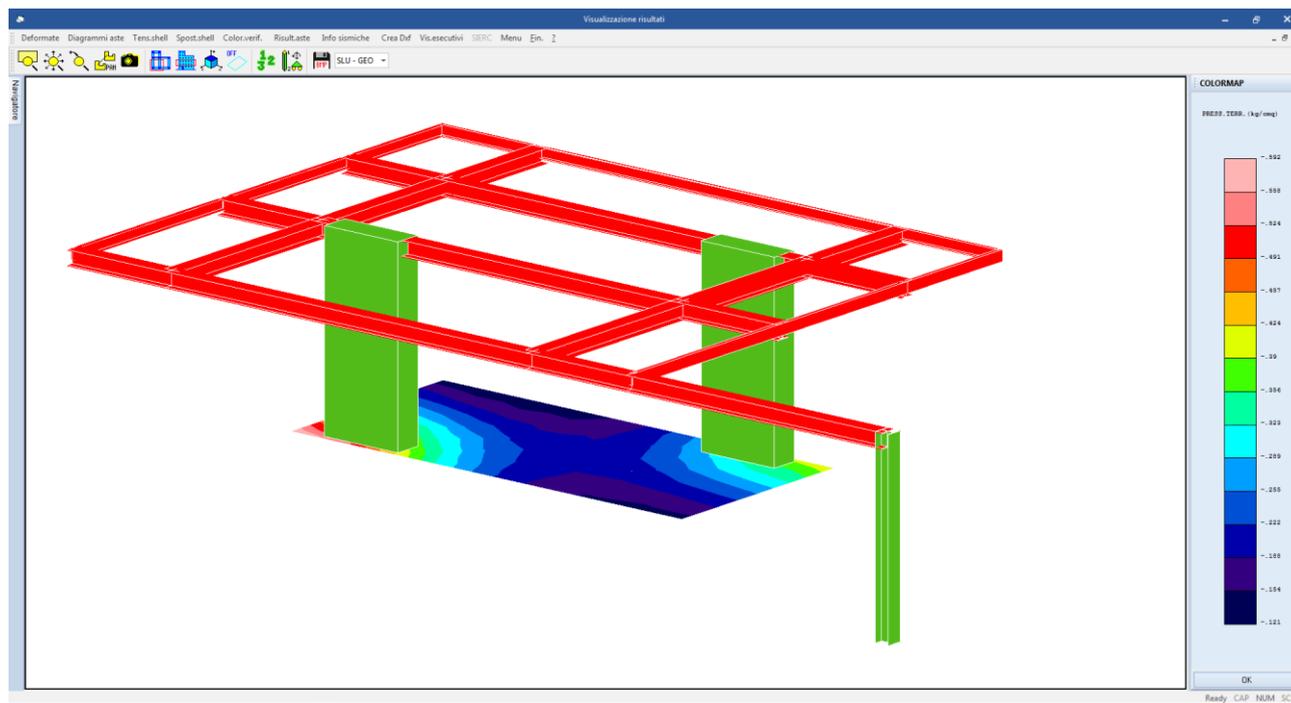


Figura 33: pressioni di contatto col terreno in combinazione SLV1 (max = 0.611 daN/cm<sup>2</sup>)

La capacità portante limite della platea di fondazione viene valutata secondo Brinch-Hansen con la relazione:

$$q_{\text{lim}} = q N_q \gamma_q i_q d_q b_q g_q s_q + c N_c \gamma_c i_c d_c b_c g_c s_c + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma \gamma_\gamma i_\gamma d_\gamma b_\gamma g_\gamma s_\gamma$$

dove

Caratteristiche geometriche della fondazione:

$q$  = carico sul piano di fondazione

*B = lato minore della fondazione*  
*L = lato maggiore della fondazione*  
*D = profondità della fondazione*  
 *$\alpha$  = inclinazione base della fondazione*  
*G = peso specifico del terreno*  
*B' = larghezza di fondazione ridotta = B - 2 eB*  
*L' = lunghezza di fondazione ridotta = L - 2 eL*

Caratteristiche di carico sulla fondazione:

*H = risultante delle forze orizzontali*  
*N = risultante delle forze verticali*  
*eB = eccentricità del carico verticale lungo B*  
*eL = eccentricità del carico verticale lungo L*  
*FhB = forza orizzontale lungo B*  
*FhL = forza orizzontale lungo L*

Caratteristiche del terreno di fondazione:

*$\beta$  = inclinazione terreno a valle*  
*c = cu = coesione non drenata (condizioni U)*  
*c = c' = coesione drenata (condizioni D)*  
 *$\Gamma$  = peso specifico apparente (condizioni U)*  
 *$\Gamma = \Gamma'$  = peso specifico sommerso (condizioni D)*  
 *$\phi = 0$  = angolo di attrito interno (condizioni U)*  
 *$\phi = \phi'$  = angolo di attrito interno (condizioni D)*

Fattori di capacità portante:

$$Nq = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \exp(\pi + \tan \phi) \quad (\text{Prandtl-Cauchot-Meyerhof})$$

$$Ng = 2(Nq + 1) \tan \phi \quad (\text{Vesic})$$

$$Nc = \frac{Nq - 1}{\tan \phi} \quad \text{in condizioni D (Reissner-Meyerhof)}$$

$$Nc = 5,14 \quad \text{in condizioni U}$$

Indici di rigidezza (condizioni D):

$$Ir = \frac{G}{c' + q' \tan \phi} = \text{indice di rigidezza}$$

$$q' = \text{pressione litostatica efficace alla profondità } D + \frac{B}{2}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \text{modulo elastico tangenziale}$$

*E = modulo elastico normale*

$\mu$  = coefficiente di Poisson

$$I_{cr} = \frac{1}{2} \exp \left[ \frac{3,3 - 0,45 \frac{B}{L}}{\tan(45 - \frac{\phi'}{2})} \right] = \text{indice di rigidezza critico}$$

Coefficienti di punzonamento (Vesic):

$$Y_q = Y_g = \exp \left[ \left( 0,6 \frac{B}{L} - 4,4 \right) \tan \phi' + \frac{3,07 \sin \phi' \log(2Ir)}{1 + \sin \phi'} \right] \text{ in condizioni drenate, per } Ir \leq$$

I<sub>cr</sub>

$$Y_c = Y_q - \frac{1 - Y_q}{Nq \times \tan \phi'}$$

Coefficienti di inclinazione del carico (Vesic):

$$i_g = \left( \frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \text{ang} \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_q = \left( \frac{1 - H}{N + B \times L \times c' \times \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{Nc \times \tan \phi'} \quad \text{in condizioni D}$$

$$i_c = 1 - \frac{m \times H}{B \times L \times cu \times Nc} \quad \text{in condizioni U}$$

essendo:

$$m = mB \cos^2 \Theta + mL \sin^2 \Theta$$

$$mB = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}} \quad mL = \frac{2 + \frac{L'}{B'}}{1 + \frac{L'}{B'}} \quad \Theta = \tan^{-1} \frac{Fh \times B}{Fh \times L}$$

Coefficienti di affondamento del piano di posa (Brinch-Hansen):

$$dq = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B'$$

$$dq = 1 + 2 \frac{D}{B'} \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \quad \text{per } D \leq B'$$

$$dc = dq - \frac{1 - dq}{Nc \times \tan \phi} \quad \text{in condizioni D}$$

$$dc = 1 + 0,4 \arctan \frac{D}{B'} \quad \text{per } D > B' \text{ in condizioni U}$$

$$dc = 1 + 0,4 \frac{D}{B'} \quad \text{per } D \leq B' \text{ in condizioni U}$$

Coefficienti di inclinazione del piano di posa:

$$bg = \exp(-2,7\alpha \tan \phi)$$

$$bc = bq = \exp(-2\alpha \tan \phi) \quad \text{in condizioni D}$$

$$bc = 1 - \frac{\alpha}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$bq = 1 \quad \text{in condizioni U)}$$

Coefficienti di inclinazione del terreno di fondazione:

$$gc = gq = \sqrt{1 - 0,5 \tan \beta} \quad \text{in condizioni D}$$

$$gc = 1 - \frac{\beta}{147} \quad \text{in condizioni U}$$

$$gq = 1 \quad \text{in condizioni U}$$

Coefficienti di forma (De Beer):

$$sg = 1 - 0,4 \frac{B'}{L'}$$

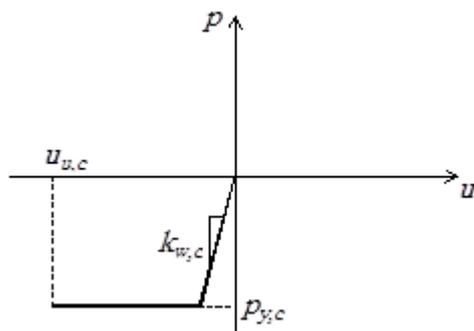
$$sq = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi$$

$$sc = 1 + \frac{B' Nq}{L' Nc}$$

L'azione del sisma si traduce in accelerazioni nel sottosuolo (effetto cinematico) e nella fondazione, per l'azione delle forze d'inerzia generate nella struttura in elevazione (effetto inerziale). Tali effetti sono stati portati in conto mediante l'introduzione di coefficienti sismici rispettivamente denominati  $K_h$  e  $I_{gk}$ , il primo definito dal rapporto tra le componenti orizzontale e verticale dei carichi trasmessi in fondazione ed il secondo funzione dell'accelerazione massima attesa al sito il tutto secondo le formulazioni proposte da Paolucci e Peker.

Gli elementi strutturali che compongono la sottostruttura di fondazione superficiale sono schematizzati come poggianti su una serie discreta di molle a comportamento non lineare nei riguardi della componente verticale di spostamento ed elastico per le altre componenti di spostamento.

I legami costitutivi forza-spostamento (p-u) delle molle non lineari utilizzate per modellare il suolo sono del tipo elasto-plastico. In particolare nel caso di fondazioni superficiali quale quella in oggetto, il legame costitutivo è non resistente a trazione


**Figura 34: Legami costitutivi molle non lineari per fondazioni superficiali**

La rigidezza  $k_{w,c}$  del tratto elastico del legame è valutata a partire dalla costante di Winkler del terreno tenendo conto della superficie di impronta di competenza della singola molla.

Il valore di limite elastico  $p_{y,c}$  della forza è dedotto dal valore  $Q_{lim}$  del carico limite calcolato come detto sopra.

Infine lo spostamento ultimo  $u_{u,c}$  è fissato sulla base di valori teorico-sperimentali riportati nella letteratura tecnica.

Per le verifiche di tipo geotecnico (GEO), si assume che sia stato raggiunto lo stato limite ultimo del terreno se lo spostamento sotto una delle molle non lineari attinge al valore ultimo  $u_{u,c}$ . Inoltre si ha lo stato limite ultimo nel terreno se tutte le molle che modellano il suolo hanno raggiunto la fase plastica del legame costitutivo. In questa condizione infatti non è più possibile equilibrare ulteriori incrementi di carico.

Il programma conduce quindi un'analisi non lineare a controllo di forza incrementando le azioni agenti fino ad ottenere il collasso della fondazione.

Al fine di verificare la compatibilità delle deformazioni del terreno, che in campo plastico possono diventare molto elevate, con la effettiva capacità di redistribuzione della fondazione, durante l'analisi viene limitata la rotazione tra i vari punti della stessa. Il raggiungimento di una prefissata rotazione ultima individua il criterio per la determinazione del moltiplicatore di collasso.

Tale modalità di analisi risulta descritta anche nel codice FEMA 356, codice di indubbio valore internazionale, a cui può farsi riferimento come previsto dal Cap. 12 delle NTC 2018.

Nella fattispecie i valori minimi del moltiplicatore dei carichi è pari a 23.890 allo SLV. Le verifiche di portanza risultano soddisfatte.

PORTANZA GLOBALE - MOLTIPLICATORI DI COLLASSO - SLU										
Comb N.ro	DRENATE				NON DRENATE				RISULTATI	
	Risult (t)	Resist (t)	Moltip. Collasso	%Pl. Moll	Risult (t)	Resist (t)	Moltip. Collasso	%Pl. Moll	Moltip. Minimo	STATUS (m)
A1 / 1	97	2307	23.890	32					23.890	OK
A1 / 2	96	2288	23.893	30						OK
A1 / 3	97	2307	23.892	38						OK
A1 / 4	96	2288	23.893	36						OK
A1 / 5	91	2172	23.893	26						OK
A1 / 6	97	2307	23.893	30						OK
A1 / 7	96	2289	23.893	30						OK
A1 / 8	91	2469	27.143	40						OK
A1 / 9	66	1789	27.157	28						OK
A1 / 10	66	2004	30.414	40						OK

PORTANZA GLOBALE - MOLTIPLICATORI DI COLLASSO - SLU										
Comb N.ro	DRENATE				NON DRENATE				RISULTATI	
	Risult (t)	Resist (t)	Moltip. Collasso	%Pl. Moll	Risult (t)	Resist (t)	Moltip. Collasso	%Pl. Moll	Moltip. Minimo	STATUS (m)
A1 / 11	66	2004	30.420	40						OK
A1 / 12	66	1789	27.157	30						OK
A1 / 13	66	2004	30.418	38						OK
A1 / 14	66	2218	33.672	47						OK
A1 / 15	66	2219	33.683	40						OK
A1 / 16	66	2003	30.407	43						OK

## 15 GIUDIZIO MOTIVATO ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

A titolo di esempio viene determinata in modo "manuale" l'entità del tagliante sismico al piede dell'edificio.

Tenendo conto dei periodi propri della struttura riportati, è possibile determinare il prodotto tra l'accelerazione spettrale  $S_e$  e la massa modale eccitata  $W$  di ogni singolo periodo per ogni direzione di ingresso del sisma ottenendo un "tagliante" per le due direzioni principali X e Y.

Nella tabella che segue il calcolo è eseguito per lo **spettro elastico normalizzato** scalato per il fattore di struttura  $q$  utilizzato nel calcolo globale della struttura

FREQUENZE E MASSE ECCITATE								
Modo N.ro	Pulsazione (rad/sec)	Periodo (sec)	Spettro di progetto X SLV	Spettro di progetto Y SLV	SISMA X		SISMA Y	
					Massa Mod Ecc. (t)	W x $S_e$	Massa Mod Ecc. (t)	W x $S_e$
1.00	41.86	0.15	0.58	0.58	0.01	0.01	2.32	1.35
2.00	48.20	0.13	0.55	0.55	1.97	1.08	0.90	0.49
3.00	51.19	0.12	0.53	0.53	9.45	5.05	0.45	0.24
4.00	53.96	0.12	0.52	0.52	2.94	1.54	0.13	0.07
5.00	57.51	0.11	0.51	0.51	0.00	0.00	0.64	0.33
6.00	94.96	0.07	0.44	0.44	0.60	0.26	0.27	0.12
7.00	101.20	0.06	0.43	0.43	0.06	0.03	5.08	2.18
8.00	107.60	0.06	0.42	0.42	0.00	0.00	4.13	1.74
9.00	118.58	0.05	0.41	0.41	0.00	0.00	1.12	0.46
10.00	250.13	0.03	0.36	0.36	0.01	0.00	0.00	0.00
11.00	297.15	0.02	0.36	0.36	0.01	0.00	0.00	0.00
12.00	588.20	0.01	0.34	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTALE</b>					<b>7.962</b>		<b>6.980</b>	

Nelle celle "TOTALE" per ogni direzione di ingresso del sisma è riportato il risultato della combinazione SRSS delle componenti  $W \times S_e$  determinate per ogni modo ovvero:

$$TOT = \sqrt{(\sum_i E^2)}$$

Il tagliante sismico determinato in automatico dal programma è pari a:

<b>RISULTANTI FORZE MODALI</b>		
	Risultante sisma dir. X	Risultante sisma dir. Y
Modo	FX (t)	FX (t)
1	0.006	1.349
2	1.080	0.495
3	5.050	0.242
4	1.538	0.069
5	0.000	0.327
6	0.262	0.117
7	0.027	2.178
8	0.000	1.746
9	0.001	0.464
10	0.003	0.000
11	0.002	0.000
12	0.000	0.000
Totale	7.969	6.987

Quindi dei rapporti tra tagliante calcolato “manualmente” e tagliante automatico da software pari a:

- Direzione X =  $7.962/7.969 = 99.9\%$

- Direzione Y =  $6.98/9.987 = 99.9\%$

Il confronto può definirsi quindi più che positivo.