



COMUNE DI BOLOGNA



COMUNE DI CALDERARA DI RENO



COMUNE DI CAMUGNANO



COMUNE DI CASALECCHIO DI RENO



COMUNE DI CASTEL DI CASIO



COMUNE DI CREVALCORE



COMUNE DI GRIZZANA MORANDI



COMUNE DI MARZABOTTO



COMUNE DI SAN GIOVANNI IN PERSICETO

Realizzazione del percorso del II lotto prioritario della Ciclovía del Sole completamento tronchi n. 3, 4 e 7 nella Città Metropolitana di Bologna - Codice opera 2023VIPCSNC01

CUP: C31B22001500006



PROGETTO PER CONFERENZA DEI SERVIZI



MATE Soc. Coop.



Cooprogetti Soc. Coop.

PARCIANELLO PARTNERS Parcianello & Partners engineering s.r.l.

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Lino Pollastri

RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO:
Ing. Chiara Ferrari

SUPPORTO AL RUP:
arch. Federica Sodano
arch. Carla Maria Costanza Di Martino

PASSERELLA SCARICATORE CANONICA

Relazione tecnica di calcolo

Fase C	Categoria STR	Sottocategoria SP	Progressivo 01	Tipo elaborato RE	Progressivo 01	Revisione B
Codice commessa BOLO24030	Redatto Caprara	Controllato Perini	Approvato Pollastri	Scala -	Descrizione Emissione	Data Novembre 2024

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. DESCRIZIONE DEL CONTESTO EDILIZIO E DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEL SITO.....	4
3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO CHE CONCORRONO ALLA DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI BASE DEL SITO	7
4. DESCRIZIONE DEI MATERIALI E DEI PRODOTTI PER USO STRUTTURALE	21
CLS FONDAZIONI E PALI:	21
CLS PARETI E SETTI:	21
CLS IMPALCATO:	21
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA – TUBO QUADRO 300*s:	22
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA - TUBO 150*150*8 – 300*150*10:.....	22
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA - TUBO 150*150*8 – 300*150*10:.....	22
5. ANALISI DEI CARICHI	23
AZIONE DELLA VENTO:	23
AZIONE DELLA NEVE:	25
AZIONE DELLA TEMPERATURA:.....	25
IMPALCATO.....	26
6. ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE.....	27
7. DIMENSIONAMENTO STRUTTURE.....	28
LAMIERA GRECATA	28
TRAVI LONGITUDINALI	28
TRAVI TRASVERSALI	29
CORRENTI	31
8. MODELLO.....	33

1. PREMESSA

Nell'ambito dei lavori di realizzazione della Ciclovía del Sole, nel territorio del comune di Casalecchio di Reno è prevista la realizzazione di un attraversamento ciclo pedonale dello scaricatore Canonica, a ridosso della immissione dello stesso nel fiume Reno, un centinaio di metri a valle del ponte "Giovanni Masi". Il nuovo attraversamento avverrà in destra idraulica del fiume Reno.

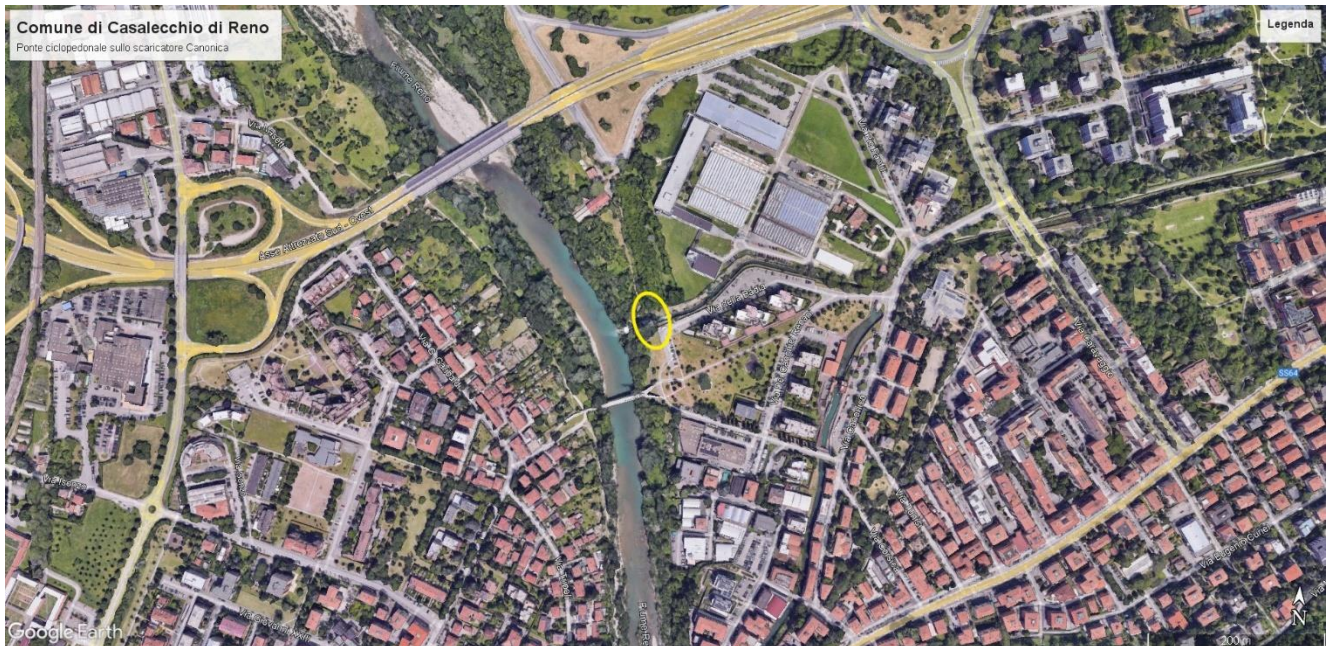


Figura 1 Inquadramento satellitare



Figura 2 Immagine satellitare

L'attraversamento, che avrà lunghezza complessiva di circa 20,00 m, avverrà in una zona a rischio esondazione, pertanto la struttura dovrà essere leggera, limitando al massimo la presenza di pile in alveo.

La scelta, è stata quella di una struttura in acciaio che si collocherebbe in continuità con le passerelle ciclopedonali realizzate negli ultimi decenni nel comune di Casalecchio di Reno. In particolare si è optato per un ponte reticolare, aperto a via inferiore di 20,00 m circa di luce.

Nelle pagine presenti è riportato il predimensionamento della struttura.

2. DESCRIZIONE DEL CONTESTO EDILIZIO E DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE DEL SITO

Il ponte ciclopedonale sullo Scaricatore Canonica verrà realizzato al margine Nord Est dell'abitato di Casalecchio di Reno, in prossimità del confine con la città di Bologna, in area fortemente urbanizzata, a una quota di circa 50 m s.l.m.m. e collegherà la via della Badia, in destra idraulica, alla zona del campo di tiro degli Arcieri del Reno, in sinistra idraulica del corso d'acqua.

Sulla zona sono state eseguite indagini geognostiche per la caratterizzazione del terreno di fondazione.

All'atto dei sondaggi non è stata rilevata presenza di falda nei primi 16 metri dal p. di c.

Si riporta di seguito la successione stratigrafica, come risultata dai sondaggi realizzati nell'area del ponte sullo scaricatore Canonica, e una tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici delle unità litotecniche individuate proposte nella relazione geologica del dott. Geologo Alberto Caprara:

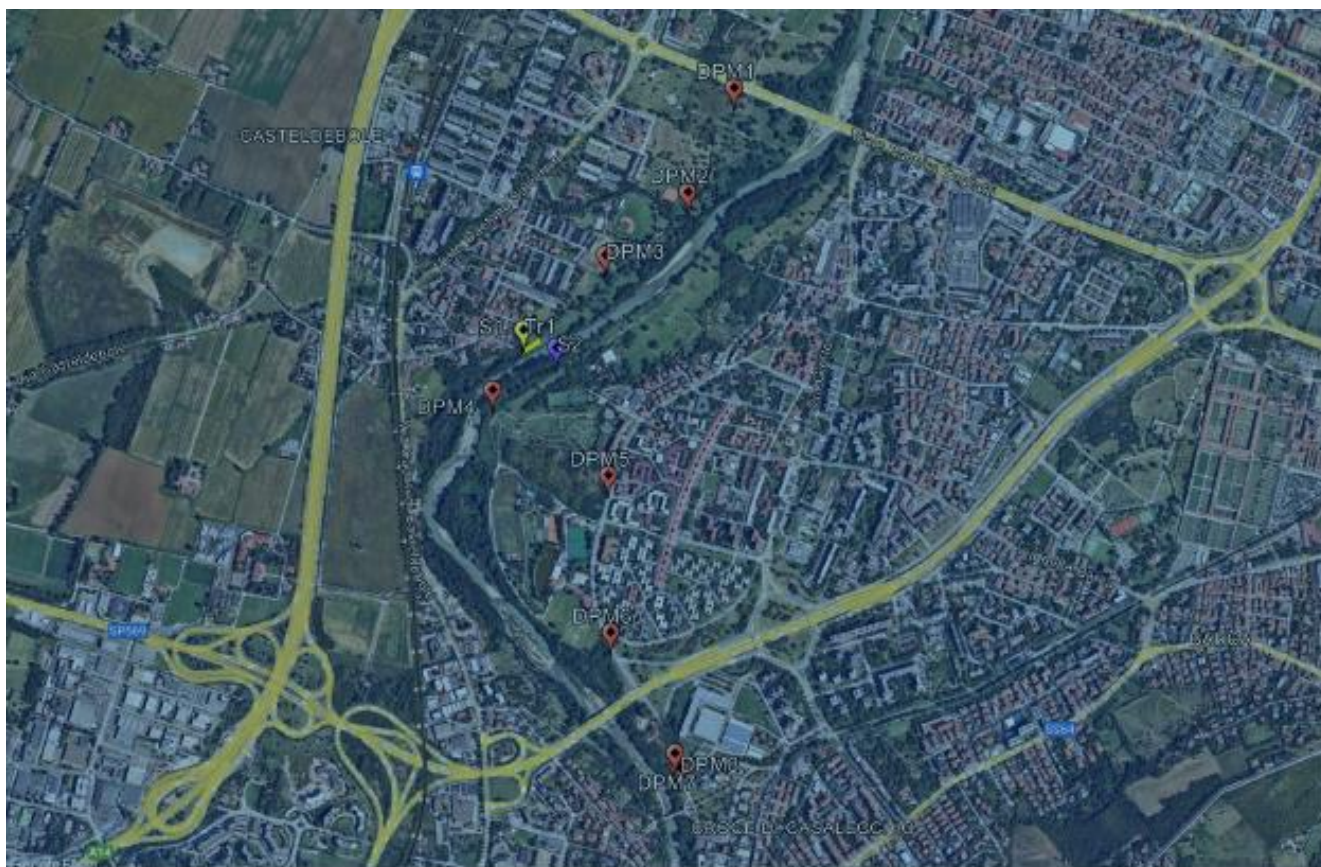


Figura 3 Ubicazione delle indagini geognostiche

PROVA DPM7			
Unità	Descrizione stratigrafica	Intervallo di profondità [m]	rp _d [kg/cm ²]
A	Terreno di riporto, limoso sabbioso con inclusi eterogenei	0.0 – 0.6	69.41-347.04
B	Limi sabbiosi e sabbie limose moderatamente compatte	0.6 – 2.5	26.15-74.14
C	Sabbia e ghiaia ben addensate	2.5 – 3.1	74.14-585.68
Livello di falda			assente

PROVA DPM8			
Unità	Descrizione stratigrafica	Intervallo di profondità [m]	rp _d [kg/cm ²]
A	Terreno di riporto, limoso sabbioso con inclusi eterogenei	0.0 – 0.3	55.53-124.94
C	Sabbia e ghiaia ben addensate	0.3 – 0.5	509.00-694.09
Livello di falda			assente

Tabella 3: successione litostratigrafica ricostruita dalle indagini realizzate nel sito.

INDICAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO TRATTO DI BOLOGNA						
Unità litotec	Descrizione litologica	Comportamento geotecnico	γ_n [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	Cu [kPa]	ϕ' [°]
A	Terreno di riporto, limoso sabbioso con inclusi eterogenei	Coesivo/incoerente	18,50	19,50	50 – 70	24 – 29
B	Limi sabbiosi e sabbie limose moderatamente compatte	Coesivo/incoerente	18,00	19,00	40 – 65	24 - 28
C	Sabbia e ghiaia ben addensate	Incoerente	18,50	20,00	-	36 – 41

Tabella 4: modello geologico e litostratigrafico del sito.

Le spalle, saranno fondate su pali trivellati impostati 2,50 m dal piano di campagna, quindi nella Unità C – Sabbia e ghiaia ben addensate.

Al fine della caratterizzazione geotecnica del sito, si sono assunti i seguenti parametri, per le ghiaie:

$$c_{uk} = 0,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi_k = 35^\circ$$

$$\gamma_{nat,k} = 18,50 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{nat,k} = 20,00 \text{ kN/m}^3$$

STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Con riferimento alle condizioni rilevate sul posto, in particolare alla assenza di fattori predisponenti, si omette la verifica a liquefazione.

Ai fini della valutazione della risposta sismica locale si assumono i seguenti parametri:

Categoria del suolo: B

“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”

Categoria topografica: T1

“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”

3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO CHE CONCORRONO ALLA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE DEL SITO

Il territorio del Comune di Casalecchio di Reno rientra tra quelli classificati sismici con O.P.C.M.C. N. 3274 del 20 marzo 2003 e ricompresi in zona 3, bassa sismicità in una scala a severità decrescente (zona 1, zona 2, zona 3, zona 4), classificazione entrata in vigore in via definitiva il 23 ottobre 2005.

Il D.M.17 gennaio 2018 valuta le azioni sismiche in relazione al "tipo di costruzione" (dal quale deriva la vita nominale V_N) e alla "classe d'uso" (dalla quale si ricava il coefficiente d'uso C_U).

Tipo 2: opere ordinarie $\rightarrow V_N \geq 50$ anni Vita Nominale

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $\rightarrow C_U = 1,50$ Coefficiente d'uso

Il "periodo di riferimento" (che non può essere inferiore ai 35 anni) si ricava dalla relazione:

$$V_R = V_N * C_U = 50 * 1,50 = 75$$

L'azione sismica di riferimento è definita in base pericolosità sismica del sito di costruzione. Il territorio nazionale è stato diviso con una griglia di passo $0,05^\circ$: i nodi del reticolo rappresentano punti in cui gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali e verticali dell'azione sismica di progetto, sono noti. In base alle coordinate geografiche del sito di costruzione si individuano i 4 nodi che definiscono la maglia di appartenenza del sito stesso e, dall'interpolazione dei valori relativi a ciascuno dei 4 nodi, si ottengono i valori degli spettri di risposta del sito in esame.

	Sessadecimali WGS 84	Sessadecimali ED 50
Latitudine Nord	44.487630°	44.488570°
Longitudine Est	11.284570°	11.285564°

Le probabilità di superamento del periodo di riferimento V_R cui riferirsi per l'individuazione dell'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella sotto:

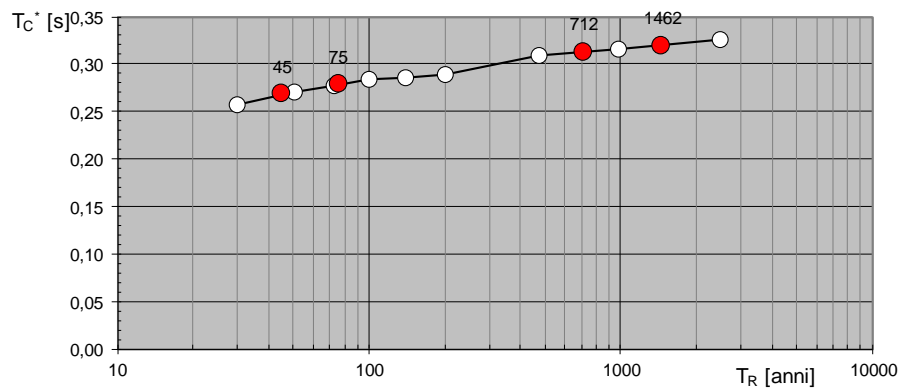
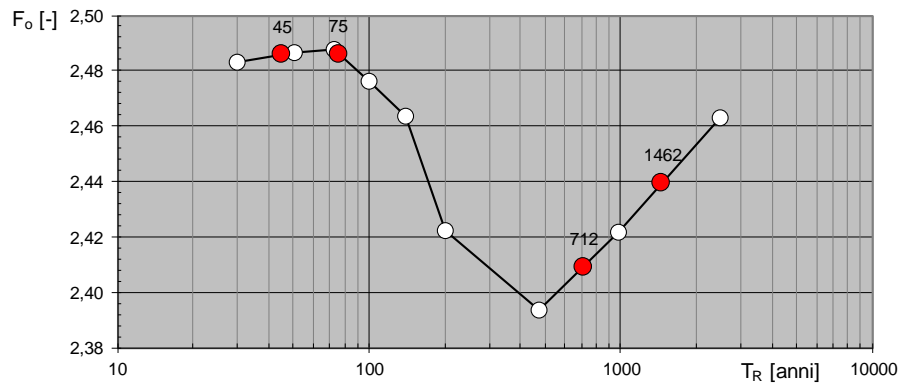
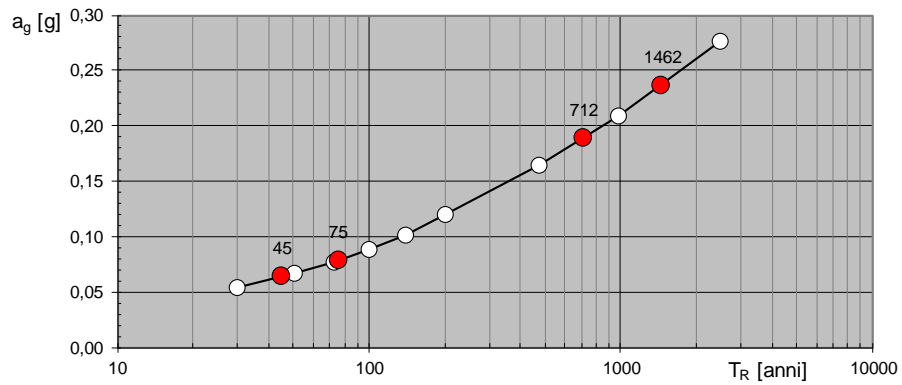
Stati Limite		P_{V_R} Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{V_R} , a partire dai valori dei seguenti parametri:

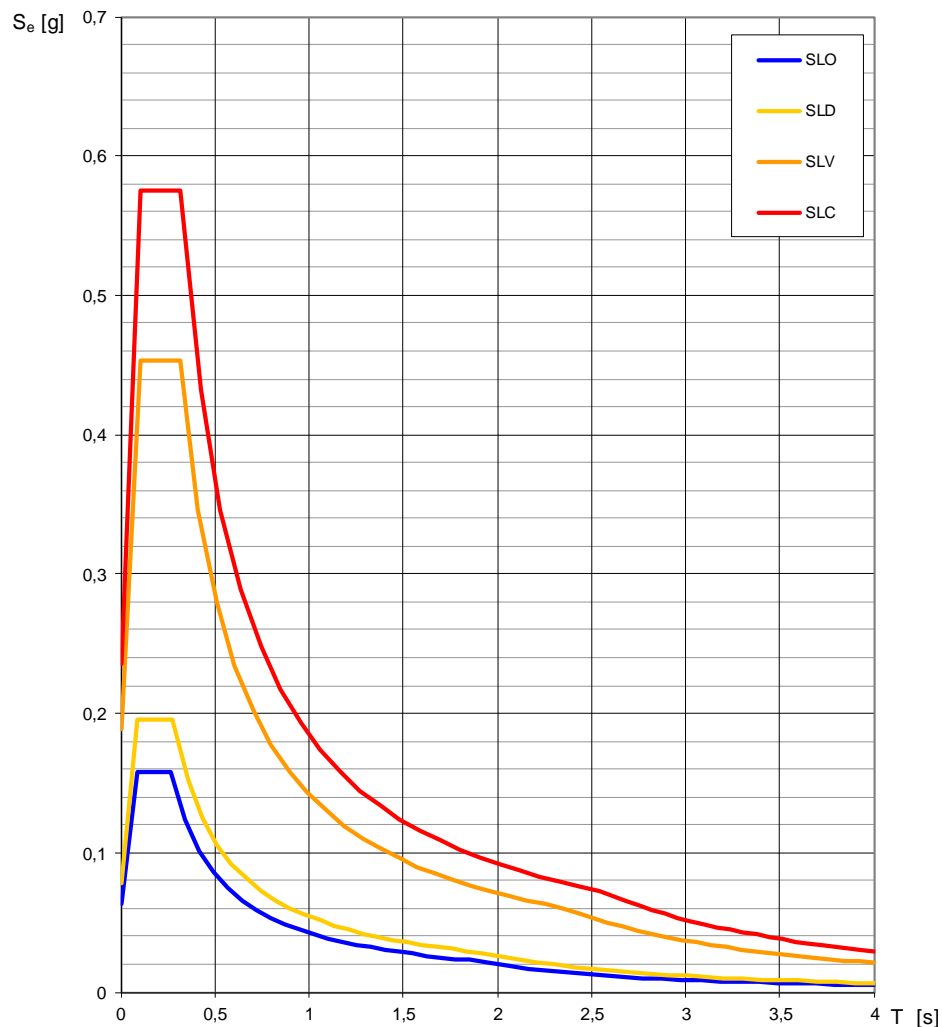
- a_g accelerazione orizzontale massima al sito
 F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
 T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,064	2,486	0,268
SLD	75	0,078	2,486	0,278
SLV	712	0,188	2,409	0,313
SLC	1462	0,236	2,440	0,320

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R


Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Quando si progetta agli S.L.D. non si ricorre alle capacità dissipative della struttura e effetti delle azioni sismiche sono calcolati riferendosi allo spettro di progetto $S_d(T)$ ottenuto assumendo un fattore di comportamento $q=1$. Quando si progetta agli S.L.U., ricorrendo alle capacità dissipative della struttura, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di comportamento $q>1$. (In pratica le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura stessa, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni).

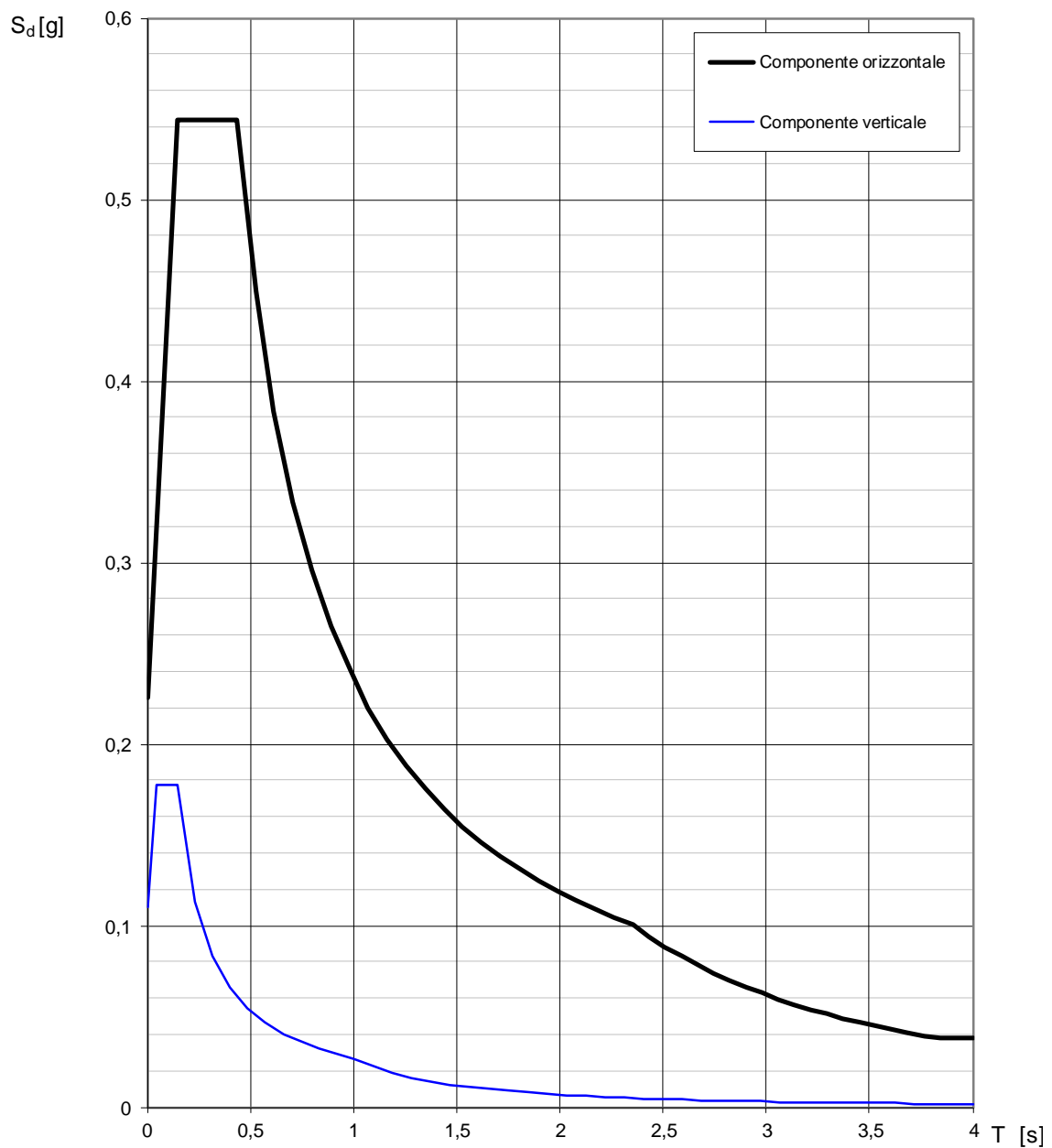
Per la struttura in oggetto si assume un comportamento elastico, ipotizzando che tutte le membrature e i collegamenti rimangano sostanzialmente in campo elastico. In accordo a quanto riportato al §7.2.2, la componente verticale deve essere tenuta in conto-

Per il dimensionamento delle opere si assume:

$$q_H = 1,00$$

$$q_V = 1,00$$

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLV**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,188 g
F_o	2,415
T_C	0,313 s
S_S	1,200
C_C	1,388
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,145 s
T_C	0,434 s
T_D	2,351 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.4; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.6})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.5})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.7})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.2)

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

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

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

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,225
$T_B \leftarrow$	0,145	0,544
$T_C \leftarrow$	0,434	0,544
	0,526	0,449
	0,617	0,383
	0,708	0,334
	0,799	0,296
	0,891	0,265
	0,982	0,241
	1,073	0,220
	1,164	0,203
	1,256	0,188
	1,347	0,175
	1,438	0,164
	1,529	0,154
	1,621	0,146
	1,712	0,138
	1,803	0,131
	1,894	0,125
	1,986	0,119
	2,077	0,114
	2,168	0,109
	2,259	0,105
$T_D \leftarrow$	2,351	0,101
	2,429	0,094
	2,508	0,088
	2,586	0,083
	2,665	0,078
	2,743	0,074
	2,822	0,070
	2,900	0,066
	2,979	0,063
	3,057	0,059
	3,136	0,056
	3,215	0,054
	3,293	0,051
	3,372	0,049
	3,450	0,047
	3,529	0,045
	3,607	0,043
	3,686	0,041
	3,764	0,039
	3,843	0,038
	3,921	0,038
	4,000	0,038

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0,110 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_V	1,411
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 §. 3.2.3.5})$$

$$F_V = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.8)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V$$

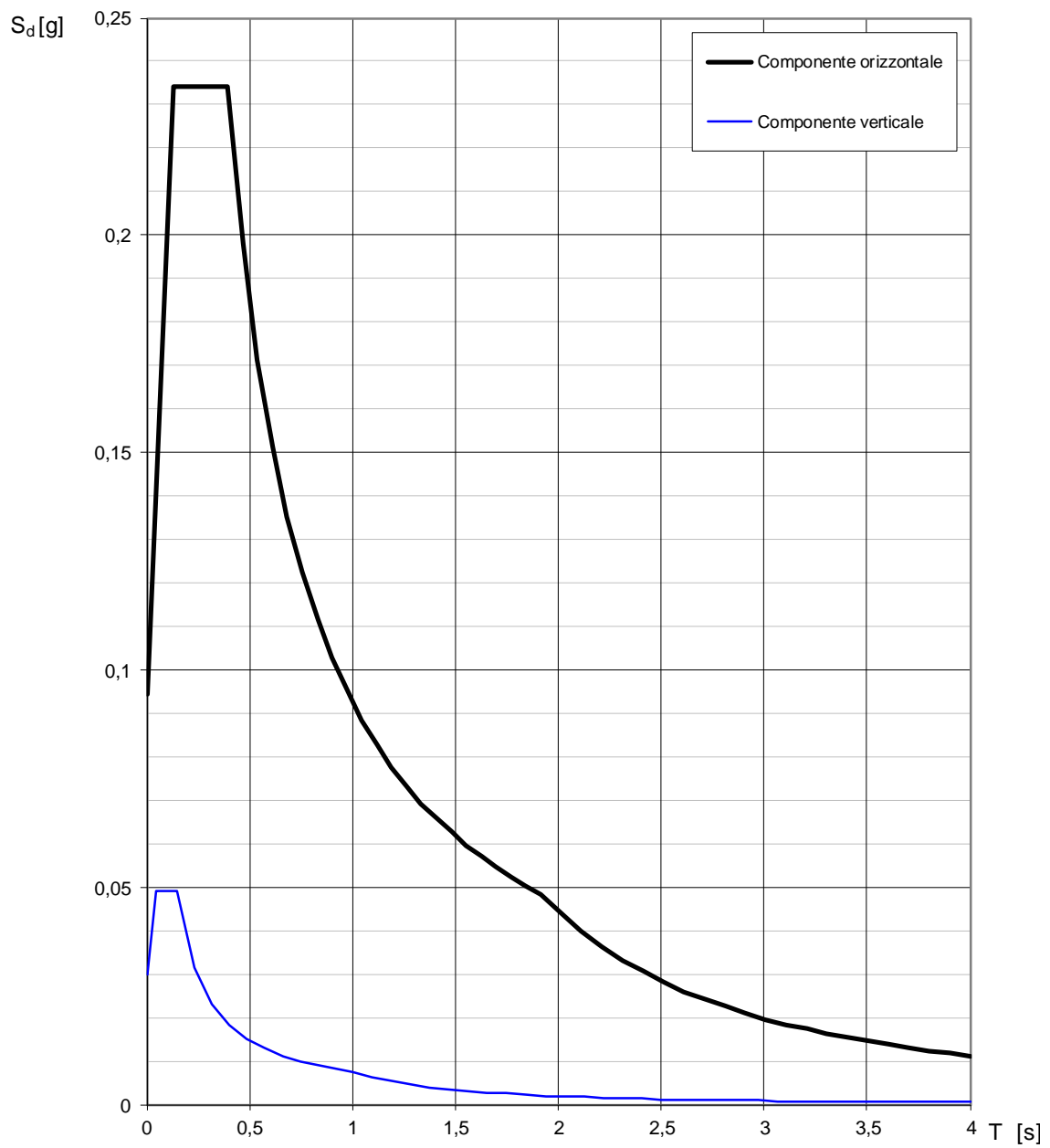
$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,110
$T_B \leftarrow$	0,050	0,177
$T_C \leftarrow$	0,150	0,177
	0,235	0,113
	0,320	0,083
	0,405	0,066
	0,490	0,054
	0,575	0,046
	0,660	0,040
	0,745	0,036
	0,830	0,032
	0,915	0,029
$T_D \leftarrow$	1,000	0,027
	1,094	0,022
	1,188	0,019
	1,281	0,016
	1,375	0,014
	1,469	0,012
	1,563	0,011
	1,656	0,010
	1,750	0,009
	1,844	0,008
	1,938	0,007
	2,031	0,006
	2,125	0,006
	2,219	0,005
	2,313	0,005
	2,406	0,005
	2,500	0,004
	2,594	0,004
	2,688	0,004
	2,781	0,003
	2,875	0,003
	2,969	0,003
	3,063	0,003
	3,156	0,003
	3,250	0,003
	3,344	0,002
	3,438	0,002
	3,531	0,002
	3,625	0,002
	3,719	0,002
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,002

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLD**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,078 g
F_0	2,486
T_C	0,278 s
S_S	1,200
C_C	1,421
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,132 s
T_C	0,395 s
T_D	1,914 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.4; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.6})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.5})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.7})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.2)

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

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

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

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,094
$T_B \leftarrow$	0,132	0,234
$T_C \leftarrow$	0,395	0,234
	0,467	0,198
	0,540	0,171
	0,612	0,151
	0,684	0,135
	0,757	0,122
	0,829	0,112
	0,901	0,103
	0,974	0,095
	1,046	0,088
	1,118	0,083
	1,191	0,078
	1,263	0,073
	1,335	0,069
	1,408	0,066
	1,480	0,063
	1,552	0,060
	1,625	0,057
	1,697	0,055
	1,769	0,052
	1,842	0,050
$T_D \leftarrow$	1,914	0,048
	2,013	0,044
	2,113	0,040
	2,212	0,036
	2,311	0,033
	2,411	0,030
	2,510	0,028
	2,609	0,026
	2,709	0,024
	2,808	0,022
	2,907	0,021
	3,007	0,020
	3,106	0,018
	3,205	0,017
	3,305	0,016
	3,404	0,015
	3,503	0,014
	3,603	0,014
	3,702	0,013
	3,801	0,012
	3,901	0,012
	4,000	0,011

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{qv}	0,030 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	0,940
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.8)

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

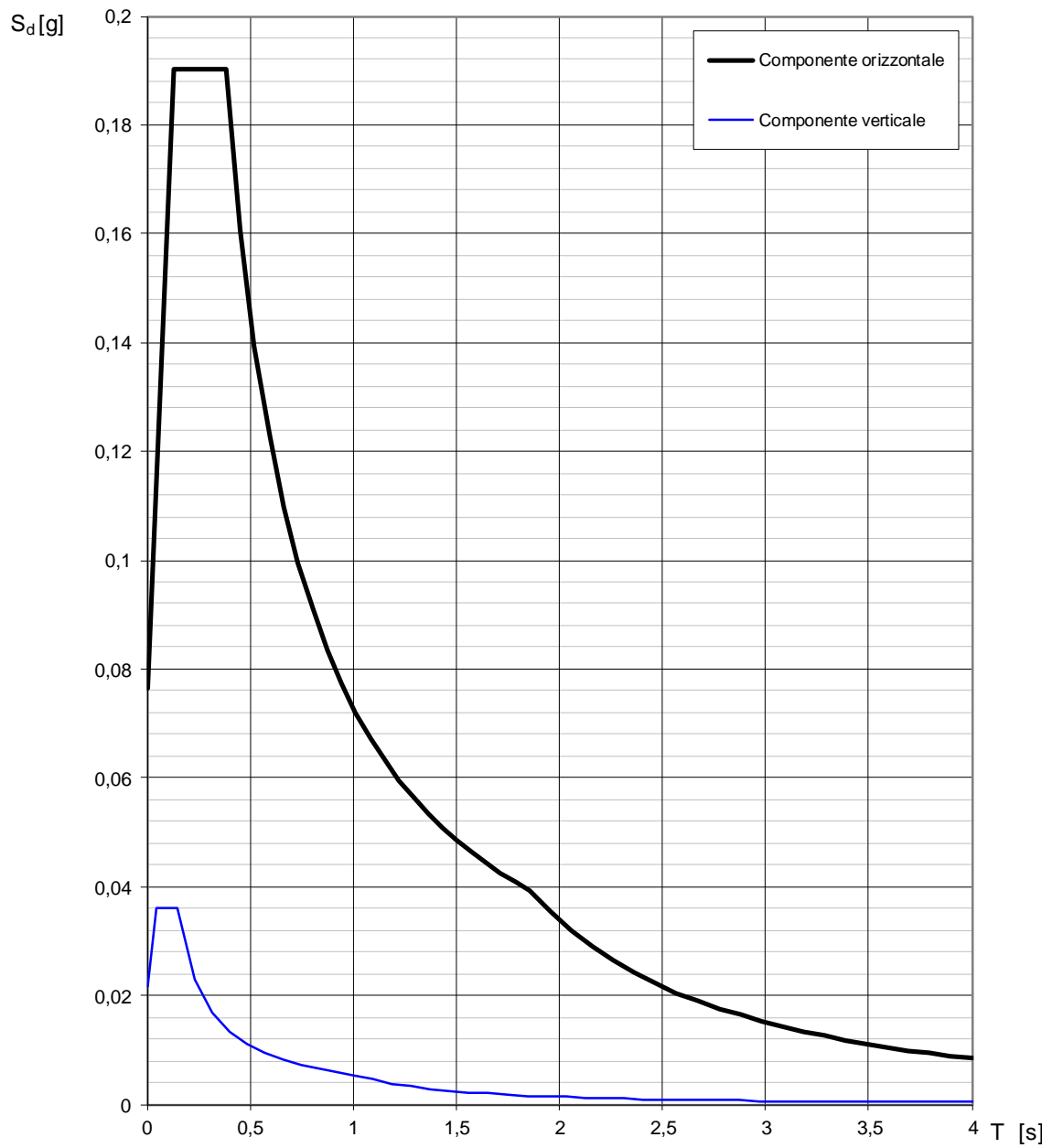
$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,030
$T_B \leftarrow$	0,050	0,049
$T_C \leftarrow$	0,150	0,049
	0,235	0,031
	0,320	0,023
	0,405	0,018
	0,490	0,015
	0,575	0,013
	0,660	0,011
	0,745	0,010
	0,830	0,009
	0,915	0,008
$T_D \leftarrow$	1,000	0,007
	1,094	0,006
	1,188	0,005
	1,281	0,004
	1,375	0,004
	1,469	0,003
	1,563	0,003
	1,656	0,003
	1,750	0,002
	1,844	0,002
	1,938	0,002
	2,031	0,002
	2,125	0,002
	2,219	0,001
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,000
	4,000	0,000

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLO



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: **SLO**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0,064 g
F_0	2,486
T_C	0,268 s
S_S	1,200
C_C	1,431
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,128 s
T_C	0,384 s
T_D	1,855 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.4; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.6})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.5})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.7})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.2)

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

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

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

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,076
$T_B \leftarrow$	0,128	0,190
$T_C \leftarrow$	0,384	0,190
	0,454	0,161
	0,524	0,139
	0,594	0,123
	0,664	0,110
	0,734	0,099
	0,804	0,091
	0,874	0,083
	0,944	0,077
	1,014	0,072
	1,084	0,067
	1,154	0,063
	1,224	0,060
	1,295	0,056
	1,365	0,053
	1,435	0,051
	1,505	0,049
	1,575	0,046
	1,645	0,044
	1,715	0,043
	1,785	0,041
$T_D \leftarrow$	1,855	0,039
	1,957	0,035
	2,059	0,032
	2,161	0,029
	2,263	0,026
	2,366	0,024
	2,468	0,022
	2,570	0,020
	2,672	0,019
	2,774	0,018
	2,876	0,016
	2,979	0,015
	3,081	0,014
	3,183	0,013
	3,285	0,013
	3,387	0,012
	3,489	0,011
	3,591	0,010
	3,694	0,010
	3,796	0,009
	3,898	0,009
	4,000	0,008

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLO

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_{qv}	0,022 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,500
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	0,847
S	1,000
η	0,667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.3})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-18 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-18 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-18 Eq. 3.2.8)

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

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

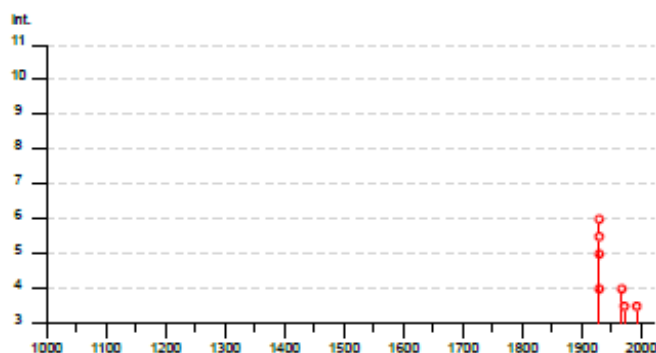
Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,022
$T_B \leftarrow$	0,050	0,036
$T_C \leftarrow$	0,150	0,036
	0,235	0,023
	0,320	0,017
	0,405	0,013
	0,490	0,011
	0,575	0,009
	0,660	0,008
	0,745	0,007
	0,830	0,007
	0,915	0,006
$T_D \leftarrow$	1,000	0,005
	1,094	0,005
	1,188	0,004
	1,281	0,003
	1,375	0,003
	1,469	0,003
	1,563	0,002
	1,656	0,002
	1,750	0,002
	1,844	0,002
	1,938	0,001
	2,031	0,001
	2,125	0,001
	2,219	0,001
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,000
	3,438	0,000
	3,531	0,000
	3,625	0,000
	3,719	0,000
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000

Dal punto di vista degli eventi sismici, citando il database macrosismico italiano (INGV 2019) DBMI151, si riscontra che la Città di Bologna ha risentito, negli ultimi anni, solo marginalmente di terremoti avvenuti in altre zone d'Italia in posizione più o meno limitrofa.

Casalecchio di Reno

PlaceID IT_39413
 Coordinate (lat, lon) 44.478, 11.277
 Comune (ISTAT 2015) Casalecchio di Reno
 Provincia Bologna
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 15



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05
4	1929	04	12	00	32		Bolognese	7	4	4.82
6	1929	04	19	04	16		Bolognese	82	6-7	5.13
5-6	1929	04	20	01	10		Bolognese	109	7	5.36
NF	1965	11	09	15	35		Appennino reggiano	32	5	4.17
4	1967	12	30	04	19		Emilia Romagna orientale	40	6	5.05
3-4	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71
3-4	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03

DBMI15_v4.0_SeismicHistory_IT_39296 – Stralcio dal 1971

¹ Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*, versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>

4. DESCRIZIONE DEI MATERIALI E DEI PRODOTTI PER USO STRUTTURALE

Per la realizzazione delle opere è stato previsto l'impiego dei seguenti materiali:

CLS FONDAZIONI E PALI:

Classe	C32/40	B450C	
R_{ck}	40,00 N/mm ²	f_{yk}	450,00 N/mm ²
f_{ck}	33,20 N/mm ²	f_{tk}	540,00 N/mm ²
f_{ctk}	3,10 N/mm ²	γ_s	1,15
γ_c	1,50	f_{yd}	391,30 N/mm ²
f_{cd}	18,81 N/mm ²	E_{sm}	210.000 N/mm ²
f_{tdk}	2,07 N/mm ²		
E_{cm}	33.643 N/mm ²		

CLASSE DI RESISTENZA: C32/40

CLASSE DI ESPOSIZIONE: XC2

CLASSE DI CONSISTENZA: S4 – Fluida

DIMENSIONE MASSIMA AGGREGATO: 30 mm

COPRIFERRO: $\max(30; \phi_b + 10)$ – Richiesto: 40 mm

CLS PARETI E SETTI:

Classe	C35/45	B450C	
R_{ck}	45,00 N/mm ²	f_{yk}	450,00 N/mm ²
f_{ck}	37,35 N/mm ²	f_{tk}	540,00 N/mm ²
f_{ctk}	3,35 N/mm ²	γ_s	1,15
γ_c	1,50	f_{yd}	391,30 N/mm ²
f_{cd}	21,17 N/mm ²	E_{sm}	210.000 N/mm ²
f_{tdk}	2,23 N/mm ²		
E_{cm}	34.625 N/mm ²		

CLASSE DI RESISTENZA: C35/45

CLASSE DI ESPOSIZIONE: XD3

CLASSE DI CONSISTENZA: S4 – Fluida

DIMENSIONE MASSIMA AGGREGATO: 20 mm

COPRIFERRO: $\max(30; \phi_b + 10)$ – Richiesto: 30 mm

CLS IMPALCATO:

Classe	C35/45	B450C	
R_{ck}	45,00 N/mm ²	f_{yk}	450,00 N/mm ²
f_{ck}	37,35 N/mm ²	f_{tk}	540,00 N/mm ²
f_{ctk}	3,35 N/mm ²	γ_s	1,15
γ_c	1,50	f_{yd}	391,30 N/mm ²
f_{cd}	21,17 N/mm ²	E_{sm}	210.000 N/mm ²
f_{tdk}	2,23 N/mm ²		
E_{cm}	34.625 N/mm ²		

CLASSE DI RESISTENZA: C35/45
CLASSE DI ESPOSIZIONE: XD3
CLASSE DI CONSISTENZA: S5 – Superfluida
DIMENSIONE MASSIMA AGGREGATO: 10 mm
COPRIFERRO: $\max(30; \varnothing_b + 10)$ – Richiesto: 25 mm

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA – TUBO QUADRO 300*S:

Acciaio tipo S355 H – laminato a caldo

Acciaio Zincato a caldo

Tensione caratteristica di rottura a trazione: $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$

Resilienza minima J0: 27J a $\pm 0^\circ\text{C}$

Saldature di testa o a T a completa penetrazione

Giunto a completa penetrazione $\sigma_{id} \leq f_{d,materiale}$ di base

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA - TUBO 150*150*8 – 300*150*10:

Acciaio tipo S275 H – laminato a caldo

Acciaio Zincato a caldo

Tensione caratteristica di rottura a trazione: $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$

Resilienza minima J0: 27J a $\pm 0^\circ\text{C}$

ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA - TUBO 150*150*8 – 300*150*10:

Acciaio tipo S275– laminato a caldo

Acciaio Zincato a caldo

Tensione caratteristica di rottura a trazione: $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$

Resilienza minima J0: 27J a $\pm 0^\circ\text{C}$

5. ANALISI DEI CARICHI

Per l'opera si assume:

Vita Nominale $V_N = 50$ anni

Periodo di Ritorno $T_R = 75$ anni

AZIONE DELLA VENTO:

Zona di appartenenza: 2 (Emilia Romagna; 50 m. s.l.m.m.; $d \geq 30$ km dalla costa)

Valori di riferimento: $v_{b,0} = 25$ m/s, $a_0 = 750$ m, $k_s = 0,45$

La velocità di riferimento è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} * c_a$$

Per una altezza sul livello del mare del sito: $a_s < a_0$, il coefficiente di altitudine è dato dall'espressione:

$$c_a = 1,00$$

Pertanto:

$$v_b = v_{b,0} * c_a = 25,00 * 1,00 = 25,00 \text{ m/s}$$

La velocità di riferimento è data dall'espressione:

$$v_r = v_b * c_r$$

Per un periodo di ritorno di 75, con In riferimento alla figura **C.3.3.1**, si assume:

$$c_r = 1,03$$

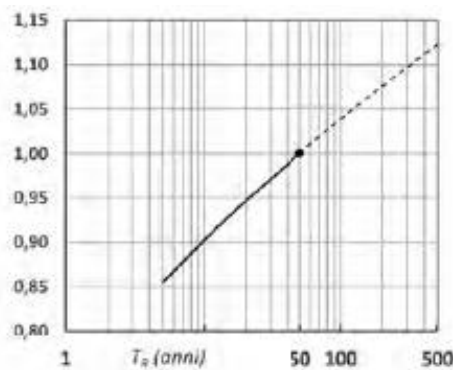


Figura C3.3.1 – Valori del coefficiente c_r in funzione del periodo di ritorno T_R (asse in scala logaritmica).

Pertanto:

$$v_r = v_b * c_r = 25,00 * 1,03 = 25,75 \text{ m/s}$$

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 di cui al § 3.3.6;

c_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7;

c_p è il coefficiente di pressione di cui al § 3.3.8;

c_d è il coefficiente dinamico di cui al § 3.3.9.

L'azione tangente del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r * c_e * c_f$$

q_r è la pressione cinetica di riferimento di cui al § 3.3.6;

c_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.3.7;

c_f è il coefficiente d'attrito di cui al § 3.3.8.

La pressione cinetica di riferimento è data dall'espressione:

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

Dove ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

Esprimendo ρ in kg/m^3 e v_r in m/s , q_r risulta espresso in N/m^2

$$q_r = \frac{1}{2} * \rho * v_r^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25,75^2 = 414,41 \text{ N/m}^2 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

Il coefficiente di esposizione è dato dall'espressione:

Distanza dalla costa: $d > 30 \text{ km}$

Classe di rugosità del terreno: Classe 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,)"

Categoria di esposizione del sito: II

Parametri pe la definizione del coefficiente di esposizione:

$$K_r = 0,19, z_0 = 0,05 \text{ m}, z_{min} = 4,00 \text{ m}$$

Per una altezza dell'edificio: $z = 25,00 \text{ m}$, si ha:

$$c_e(25) = k_r^2 * c_t * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) * \left[7 + c_t * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] =$$

$$= 0,19^2 * 1,00 * \ln\left(\frac{25,00}{0,05}\right) * \left[7 + 1,00 * \ln\left(\frac{25,00}{0,05}\right)\right] = 2,67$$

Coefficienti aerodinamici:

- per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento), con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60^\circ$, $c_p = +0,80$;
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente) $c_p = -0,40$

Coefficiente di attrito: con In riferimento alla figura C.3.3.1, si assume:

$$c_f = 0,02$$

Tabella C3.3.XIX - Valori del coefficiente d'attrito

Superficie	Coefficiente d'attrito c_f
Liscia (acciaio, cemento a faccia liscia..)	0,01
Scabra (cemento a faccia scabra, catrame..)	0,02
Molto scabra (ondulata, costolata, piegata..)	0,04

Coefficiente dinamico: $c_d = 1,0$

La pressione del vento risulta:

- superfici sopravento

$$p_{v1} = q_r * c_e * c_p * c_d = 0,42 * 2,67 * 0,80 * 1,00 = 0,90 \text{ kN/m}^2 \dots\dots\dots$$

- superfici sottovento, falda sopravento e falda sottovento

$$p_{v2} = q_r * c_e * c_p * c_d = 0,42 * 2,67 * (-0,40) * 1,00 = -0,45 \text{ kN/m}^2$$

L'azione tangente del vento risulta:

$$p_{v3} = q_r * c_e * c_f = 0,42 * 2,67 * 0,02 = 0,022 \text{ kN/m}^2$$

AZIONE DELLA NEVE:

Zona di appartenenza: I - Mediterranea – (Provincia di Bologna; $a_s=50$ m.s.l.m.m.)

Altezza sul livello del mare: $a_s < 200\text{m}$

Carico di neve al suolo: $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$

Per un periodo di ritorno di 75, con In riferimento alla figura **C.3.4.1**, si assume:

$$\alpha_R = 1,09$$

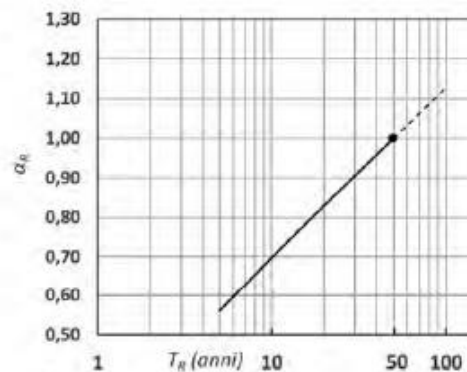


Figura C3.4.1 – Adattamento del carico della neve al suolo al variare del periodo di ritorno (coefficiente di variazione $v = 0,6$)

$$q_{sn} = \alpha_R * q_{sk} = 1,09 * 1,50 = 1,64 \text{ kN/m}^2$$

Coefficiente di forma della copertura: $\mu_1 = 1,00$

Coefficiente di esposizione (assente rimozione di neve a causa del vento): $C_E = 1,00$

Coefficiente termico: $C_t = 1,00$

Carico provocato dalla neve sulla copertura:

$$q_s = q_{sk} * \mu * C_E * C_t = 1,64 * 1,00 * 1,00 * 1,00 = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

AZIONE DELLA TEMPERATURA:

Zona I - (Provincia di Bologna; $a_s=45$ m.s.l.m.m.)

$$T_{min} = -15 - \frac{4 * a_s}{1.000} \cong -15^\circ\text{C}$$

$$T_{max} = 42 - \frac{6 * a_s}{1.000} \cong +42^\circ\text{C}$$

Tenendo conto del contributo dell'irraggiamento solare che, per superficie chiara, vale:

$$30^\circ\text{C}$$

Si ha:

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

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

Assumendo una temperatura iniziale, pari a:

$$T_0 = +15^\circ\text{C}$$

Il valore caratteristico della variazione termica risulta:

$$\Delta T^+ = T_{max} - T_0 = +72^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = +57^\circ\text{C}$$

$$\Delta T^- = T_{min} - T_0 = -15^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = -30^\circ\text{C}$$

IMPALCATO

Peso proprio

Lamiera TIPO HI-Bond HS5580/6 s=1,0 mm con soletta
 collaborante H=11cm **2,10 kN/m²**

Carichi permanenti:

Impianti sospesi 0,50 kN/m²

Incidenza parapetti 0,20 kN/m²

Sott. + Usura 1,00 kN/m²

Permanenti 1,70 kN/m² **1,70 kN/m²**

Variabili (Ponti di 3^a categoria)

Schema di carico 5: Folla compatta **5,00 kN/m²**

Schema di carico 4: Carico Isolato con impronta quadrata di
 lato L=0,10 m **10,00 kN**

AZIONE LONGITUDINALE

Si assume una azione longitudinale pari al 10% dello schema
 di carico 5: Folla compatta **0,50 kN/m²**

STRUTTURA METALLICA

Ai soli fini del predimensionamento delle strutture, si assume
 quale peso proprio della struttura metallica: **2,50 kN/m²**

6. ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE

Il sottoscritto dr ing. Mauro Perini, iscritto all'albo dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna al n. 4761/A, in qualità di tecnico progettista delle strutture, dichiara che il dimensionamento delle strutture è stato svolto manualmente secondo i dettami della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, tutti i calcoli relativi alle strutture da realizzare sono stati effettuati con il metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018.

Delle strutture così dimensionate sono stati realizzati alcuni modelli ad elementi finiti che sono stati sottoposti ad analisi statica e dinamica, con il metodo dello spettro di risposta.

Un primo modello comprende solo l'impalcato ed è stato sottoposto ai carichi statici verticali, al vento e gli sbalzi termici. Questo primo modello è stato sottoposto ad analisi statica.

Un secondo modello completo delle spalle, sottoposto ai carichi del primo modello. Questo primo modello è stato sottoposto ad analisi statica e dinamica con lo spettro di risposta.

Il modello segue la geometria della struttura, in esso la lamiera e la soletta sono considerate come un carico sulle travi di appoggio e sono tenute in conto solo attraverso un vincolo cinematico tra i nodi dell'impalcato (metodo master slave). Comunque si prevede un collegamento tra le travi e la soletta attraverso connettori.

7. DIMENSIONAMENTO STRUTTURE

LAMIERA GRECATA

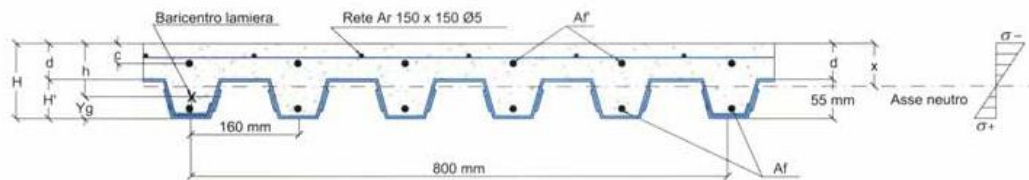
$$q_u = G_2 + Q_5 = 2,10 + 1,50 * 5,00 = 6,50 \text{ kN/m}^2$$

La portata utile, risulta inferiore a quella consigliata dal produttore per la configurazione a più campate **HS 5580 10** con armatura aggiuntiva $A_f = 1\emptyset 8/\text{greca}$; $A_{f'} = 1\emptyset 12/\text{greca}$

Per essa risulta:

$$q_u = 6,50 \text{ kN/m}^2 < 7,19 \text{ kN/m}^2$$

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



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

		Portata utile con carico uniformemente distribuito $p = q_{min} - p_p$ [daN/m ²] e freccia massima $< l / 500$																				
sp. greca	p.p.	Af	Af'	l [m]															l _{max}			
				φ [mm]	φ [mm]	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50		4,75	5,00	5,25
HS 5580 06	200	0	8	4.098	2.958	2.218	1.710	1.347	1.079	874	715	589	487	404	335	277	228	187	151	119	1,84	
HS 5580 07	202	0	10	4.724	3.417	2.569	1.988	1.572	1.264	1.030	848	703	587	491	412	346	290	242	201	165	1,93	
HS 5580 08	203	0	10	5.333	3.864	2.911	2.258	1.790	1.444	1.181	976	814	683	576	487	412	349	295	249	209	2,01	
HS 5580 10	205	0	12	6.508	4.727	3.571	2.779	2.212	1.792	1.473	1.225	1.028	869	739	631	541	464	393	312	244	2,15	
HS 5580 12	207	0	12	7.634	5.553	4.203	3.278	2.615	2.125	1.753	1.463	1.233	1.047	895	769	636	510	407	324	254	2,27	
				φ [mm]	φ [mm]	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50
HS 5580 06	200	8	10	5.452	3.952	2.979	2.312	1.835	1.481	1.213	1.004	838	704	595	504	428	363	308	261	220	1,84	
HS 5580 07	202	8	12	6.043	4.386	3.311	2.574	2.046	1.656	1.359	1.129	945	798	677	576	492	421	360	293	229	1,93	
HS 5580 08	203	8	12	6.496	4.810	3.635	2.829	2.253	1.827	1.503	1.251	1.050	889	757	647	555	475	379	300	234	2,01	
HS 5580 10	205	8	12	7.194	5.631	4.263	3.325	2.654	2.158	1.781	1.487	1.254	1.066	912	769	616	493	393	312	244	2,15	
HS 5580 12	207	8	14	7.970	6.421	4.867	3.802	3.041	2.477	2.048	1.714	1.450	1.236	993	794	636	510	407	324	254	2,27	

Nota: I valori in blu evidenziano la necessità di puntellare il solaio con una striscia di cassetta intermedia, fino alla completa maturazione del getto.
I valori dell'ultima colonna indicano la luce max oltre la quale necessità puntellare il solaio.

TRAVI LONGITUDINALI

Per le travi secondarie si adotta lo schema di trave in semplice appoggio soggetta al carico trasmesso dalla soletta.

$$\text{Tubo quadro } 150 * 150 * 8; \ell_{Max} = 200 \text{ cm}; i = 130 \text{ cm}$$

$$q_{tot} = (\gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_{Q1} * Q_{k1}) * i =$$

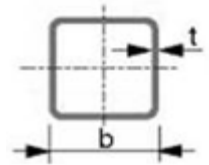
$$= (1,30 * 2,10 + 1,50 * 1,70 + 1,50 * 5,00) * 1,30 = 16,61 \text{ kN/m}$$

ACCIAIO S275 H

Quadrati a caldo	b	t	M	A	I	i	WeI	Wpl	It	Ct	Sup. est.	L per ton
	[mm]	[mm]	[kg/m]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]	[m ² /m]	[m/t]
b = 150	150	8	35,1	44,8	1489	5,77	199	237	2351	291	0,579	28,5

CLASSIFICAZIONE DEL PROFILO

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$



Snellezza dell'anima, soggetta a flessione:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{8} = 16,75 < 72 * \varepsilon = 72 * 0,92 = 66.24 \Rightarrow \text{classe 1}$$

La sezione in esame appartiene alla classe 1.

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI RESISTENZA

1.1.6.7.1 Taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} non deve superare la resistenza a taglio elastica di progetto

$V_{el,Rd}$:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{el,Rd}} \leq 1 \quad V_{Ed} = \frac{16,61 * 2,00}{2} = 16,61 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{Taglio sollecitante}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{yk}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \quad \text{resistenza a taglio elastica di progetto}$$

$$\gamma_{M0} = 1,10 \quad \text{resistenza sezioni 1-2-3-4}$$

Calcolo dell'area resistente a taglio A_v :

$$A_v = 2 * h * t = 2 * 150 * 8,0 = 240,0 \text{ mm}^2$$

$$V_{el,Rd} = \frac{240 * 275}{\sqrt{3} * 1,05} = 36.290 \text{ N} = 36,29 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{16,61}{36,29} = 0,46 < 1,00$$

Il taglio sollecitante non eccede mai il 50% della resistenza a taglio plastica di progetto lungo tutta la lunghezza dell'elemento. Pertanto, l'interazione tra taglio e momento flettente può essere sempre trascurata, ossia $M_{c,Rd}$ non deve essere ridotta in alcuna sezione della trave per tenere conto della presenza di un taglio V_{Ed} significativo.

1.1.6.7.2 Momento

Il valore di calcolo del momento flettente M_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \leq 1 \quad M_d = \frac{q_d * l^2}{8} = \frac{16,61 * 2,00^2}{8} = 9,31 \text{ kNm} \dots\dots\dots \text{Momento sollecitante}$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,x} * f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{momento plastico di progetto}$$

$$M_{el,Rd} = \frac{199.000 * 275}{1,05} = 52.110.000 \text{ Nmm} = 52,11 \text{ kNm}$$

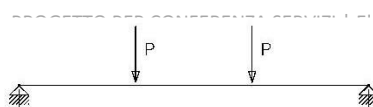
$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{16,61}{52,11} = 0,32 < 1$$

VERIFICA ALLO STATO ULTIMO DI INSTABILITÀ LATERALE

Si omette tale verifica in quanto l'instabilità risulta impedita dalla presenza della lamiera, con getto collaborante, che verrà solidarizzata alle putrelle mediante connettori.

TRAVI TRASVERSALI

Per le travi principali si adotta lo schema di trave in semplice appoggio soggetta ai carichi trasmessi dalle travi longitudinali.



Tube quadro 150 * 150 * 8 ; $\ell_{Max} = 390 \text{ cm}$; $i_\rho = 130 \text{ cm}$; $i_t = 200 \text{ cm}$

$$P_{tot} = (\gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_{Q1} * Q_{k1}) * i_\rho * i_t =$$

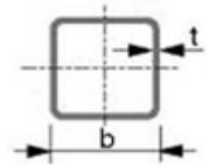
$$= (1,30 * 2,10 + 1,50 * 1,70 + 1,50 * 5,00) * 1,30 * 2 = 33,22 \text{ kN}$$

ACCIAIO S275 H

Quadrati a caldo	b	t	M	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	I _t	C _t	Sup. est.	L per ton
	[mm]	[mm]	[kg/m]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]	[m ² /m]	[m/t]
b = 150	150	8	35,1	44,8	1489	5,77	199	237	2351	291	0,579	28,5

CLASSIFICAZIONE DEL PROFILO

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92$$



Snellezza dell'anima, soggetta a flessione:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{8} = 16,75 < 72 * \varepsilon = 72 * 0,92 = 66,24 \Rightarrow \text{classe 1}$$

La sezione in esame appartiene alla classe 1.

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI RESISTENZA

1.1.6.7.3 Taglio

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} non deve superare la resistenza a taglio elastica di progetto

$V_{el,Rd}$:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{el,Rd}} \leq 1 \quad V_{Ed} = P_{tot} = 33,22 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{Taglio sollecitante}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{yk}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \quad \text{resistenza a taglio elastica di progetto}$$

$$\gamma_{M0} = 1,10 \quad \text{resistenza sezioni 1-2-3-4}$$

Calcolo dell'area resistente a taglio A_v :

$$A_v = 2 * h * t = 2 * 150 * 8,0 = 240,0 \text{ mm}^2$$

$$V_{el,Rd} = \frac{240 * 275}{\sqrt{3} * 1,05} = 36.290 \text{ N} = 36,29 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{16,61}{36,29} = 0,92 < 1,00$$

1.1.6.7.4 Momento

Il valore di calcolo del momento flettente M_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{el,Rd}} \leq 1 \quad M_d = P_{tot} * a = 33,22 * 1,30 = 43,19 \text{ kNm} \dots\dots\dots \text{Momento sollecitante}$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,x} * f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{momento plastico di progetto}$$

$$M_{el,Rd} = \frac{199.000 * 275}{1,05} = 52.110.000 \text{ Nmm} = 52,11 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{43,19}{52,11} = 0,83 < 1$$

VERIFICA ALLO STATO ULTIMO DI INSTABILITÀ LATERALE

In questa fase, si omette tale verifica.

CORRENTI

Per il complesso correnti superiori correnti inferiori, si adotta lo schema di trave in semplice appoggio soggetta al peso proprio della struttura metallica e dall'impalcato.

$$\text{Tubo quadro } 300 \text{ mm}; s = 20 \text{ mm}; \ell_{Max} = 2.000 \text{ cm}; \ell_{imp.} = 400 \text{ cm}$$

CARICO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO

PESI PROPRI

- soletta: $\gamma_{G1} * G_1 * \ell_{imp.} = 1,30 * 2,05 * 4 = 10,66 \text{ kN/m}$
- p.p. str.: $\gamma_{G1} * G_1 = 1,30 * 2,50 * 4,00 = 13,00 \text{ kN/m}$

PERMANENTI IMPALCATO

- fin.+imp.: $\gamma_{G2} * G_2 * \ell_{imp.} = 1,50 * 1,70 * 4 = 10,20 \text{ kN/m}$

VARIABILI

- Ponti di 3ª categoria: $\gamma_{Q1} * G_q * \ell_{imp.} = 1,50 * 5,00 * 4 = 30,00 \text{ kN/m}$

SOMMANO

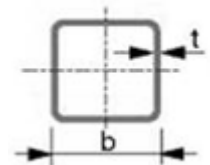
63,86kN/m

ACCIAIO S355

A	I _y	W _{el,y}	W _{pl,y}	i _y	I _z	W _{el,z}	W _{pl,z}	i _z	I _{yz}
[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm ³]	[cm]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm ³]	[cm]	[cm ⁴]
224,00	29418,67	1961,24		11,46	29418,67	1961,24		11,46	0,00

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$



$$\frac{d}{t} = \frac{300}{20} = 15 < 72 * \varepsilon = 72 * 0,81 = 58,32 \Rightarrow \text{classe 1}$$

La sezione in esame appartiene alla classe 1.

VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO DI RESISTENZA

1.1.6.7.5 Sforzo Normale

Il valore di calcolo dell'azione N_{Ed} non deve superare la resistenza a elastica di progetto N_{el,Rd}:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} \leq 1 \quad N_{Ed} = \frac{q_d * \ell^2}{2 * 8 * f} = \frac{63,86 * 20,00}{2 * 8 * 1,70} = 940,00 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{Sforzo Normale sollecitante}$$

$$N_{el,Rd} = \frac{A * f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{resistenza a Sforzo Normale elastica di progetto}$$

$$\gamma_{M0} = 1,05 \quad \text{resistenza sezioni 1-2-3-4}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{22.400 * 355}{1,05} = 7.573.000 \text{ N} = 75.730,00 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{940,00}{75.730,00} = 0,13 < 1,00$$

VERIFICA ALLO STATO ULTIMO DI INSTABILITÀ LATERALE

In questa fase, si omette tale verifica.

8. MODELLO

Sulla base del predimensionamento effettuato è stato realizzato un primo modello di verifica.

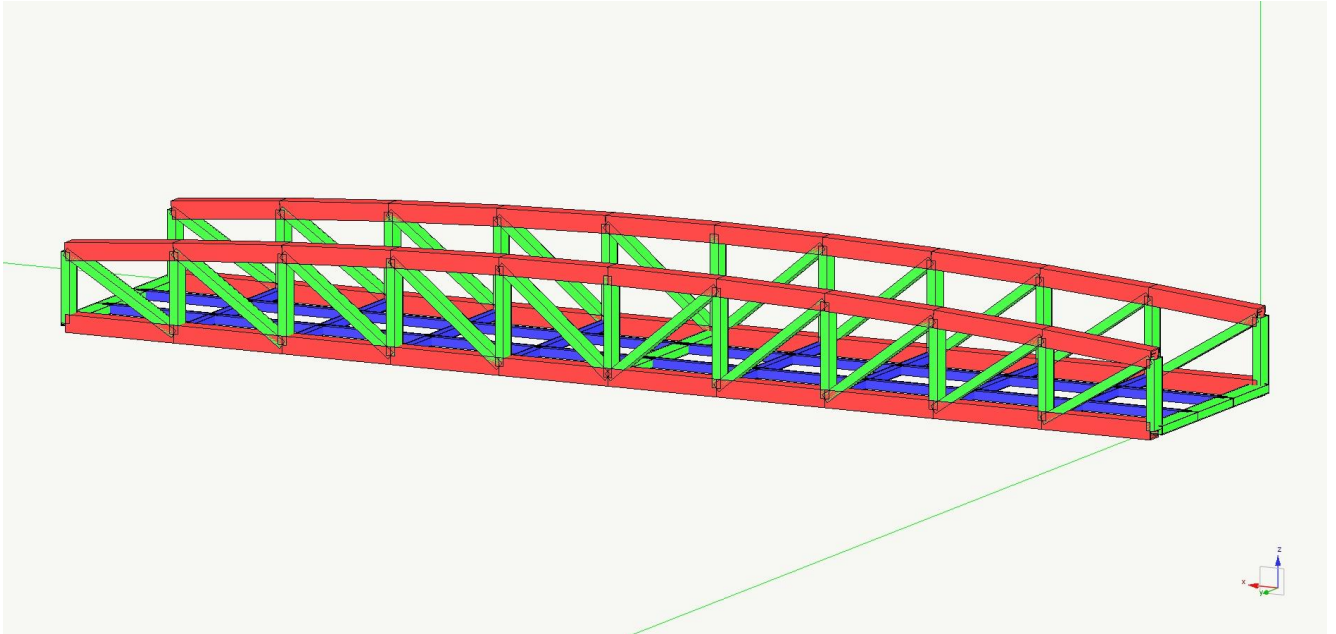


Figura 4 Modello solido

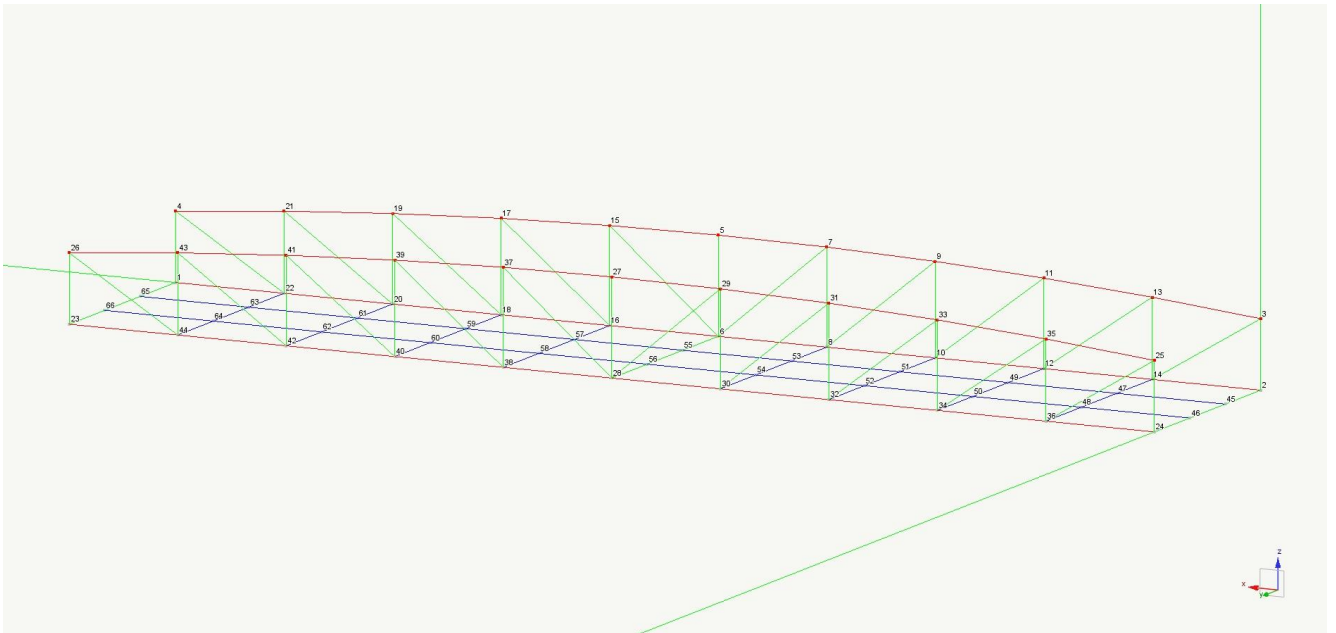


Figura 5 Modello unifilare - numerazione dei nodi

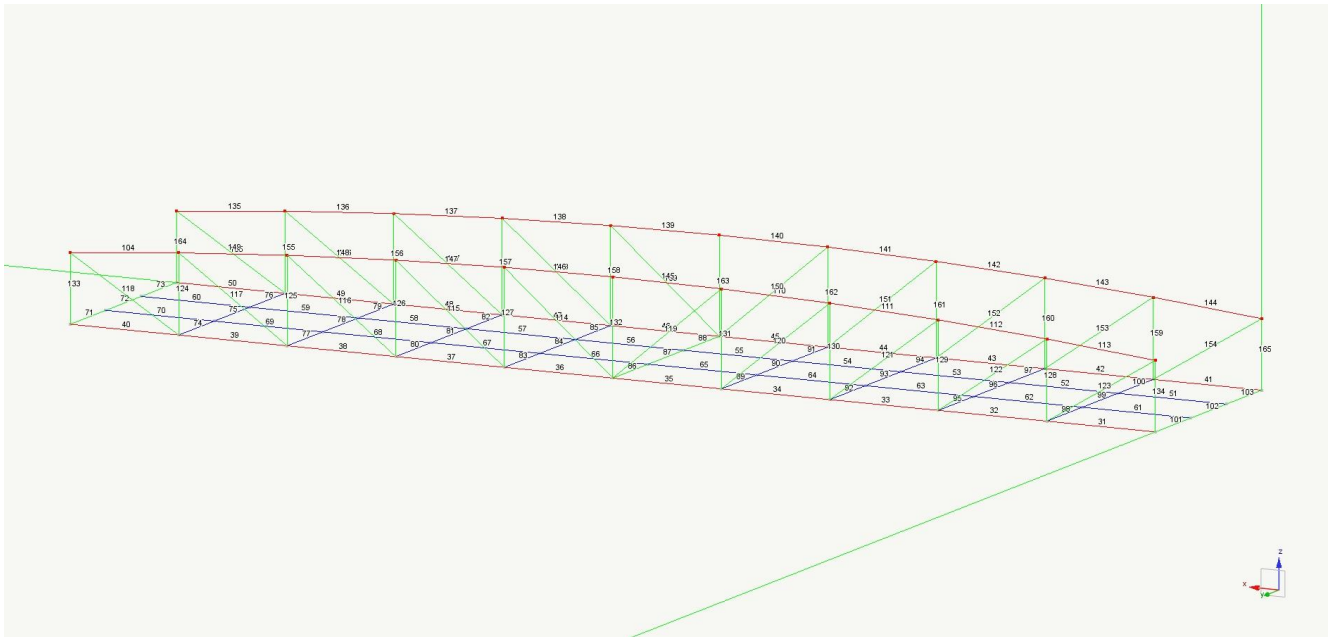


Figura 6 Modello unifilare - numerazione delle aste

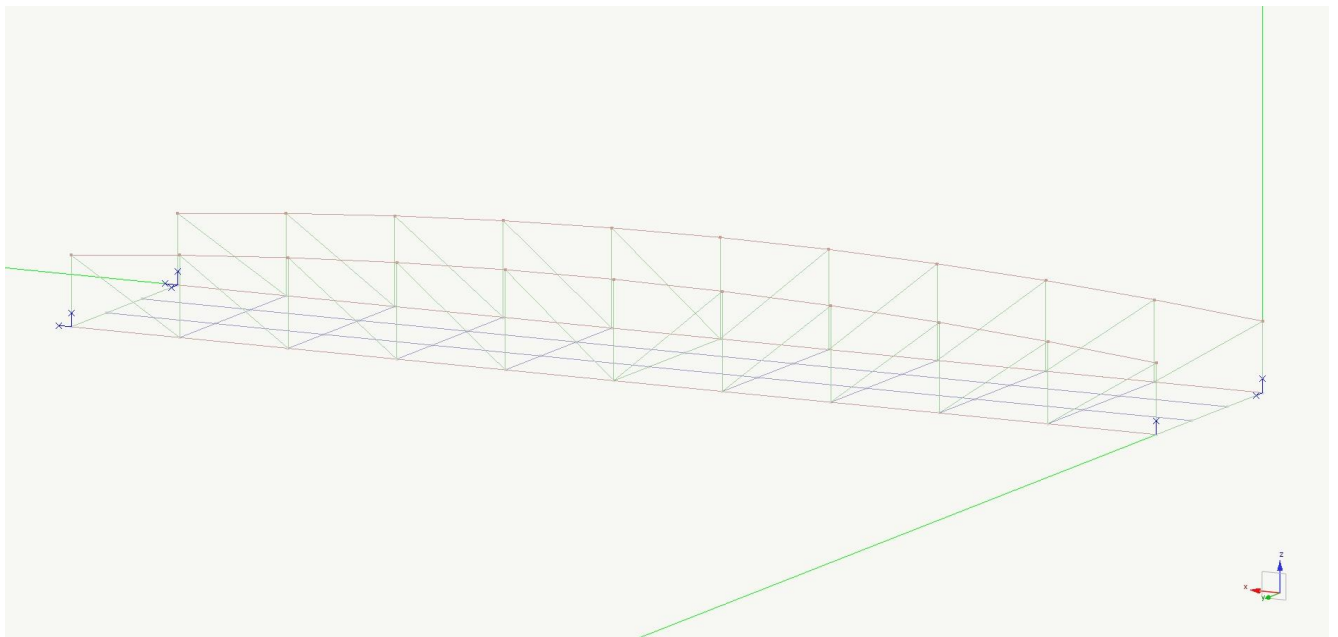


Figura 7 Modello unifilare - vincoli esterni

Il modello realizzato ha lo scopo di effettuare una prima verifica della struttura nei confronti degli SLV e della stabilità globale.

Il modello realizzato è stato sottoposto ad analisi statica e ad analisi di stabilità (buckling).

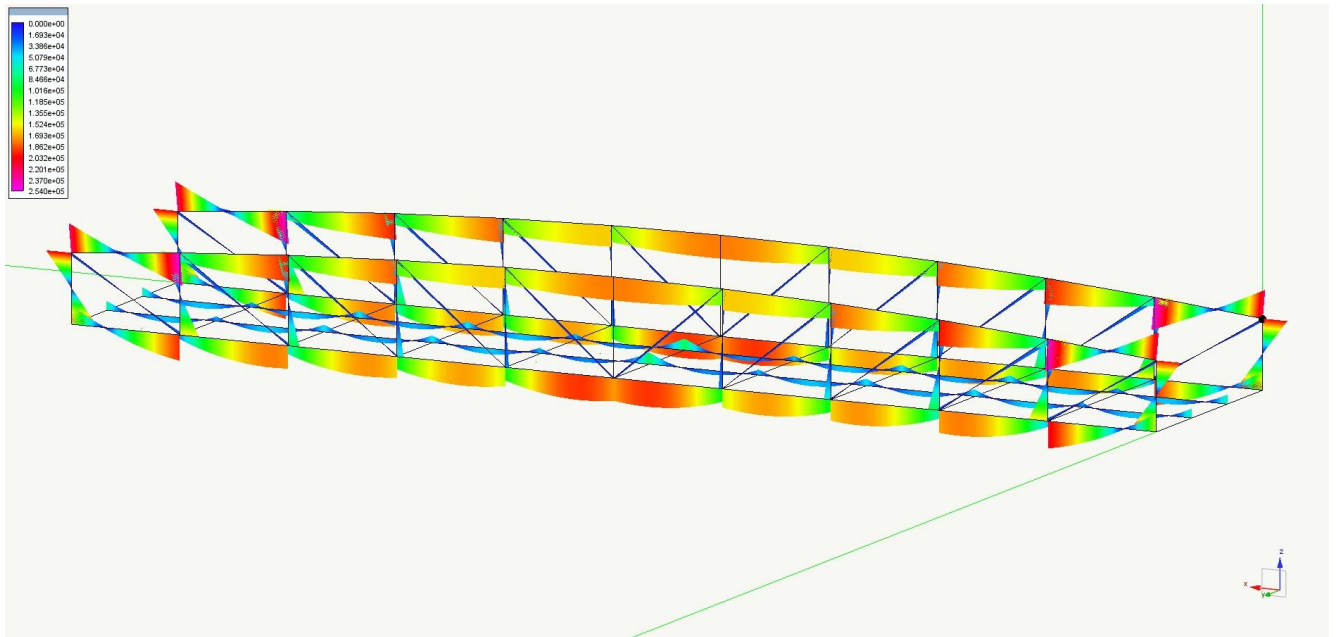


Figura 8 Diagramma di involucro dei momenti M_{zx} - Massimo nodale: 253.971 daNcm

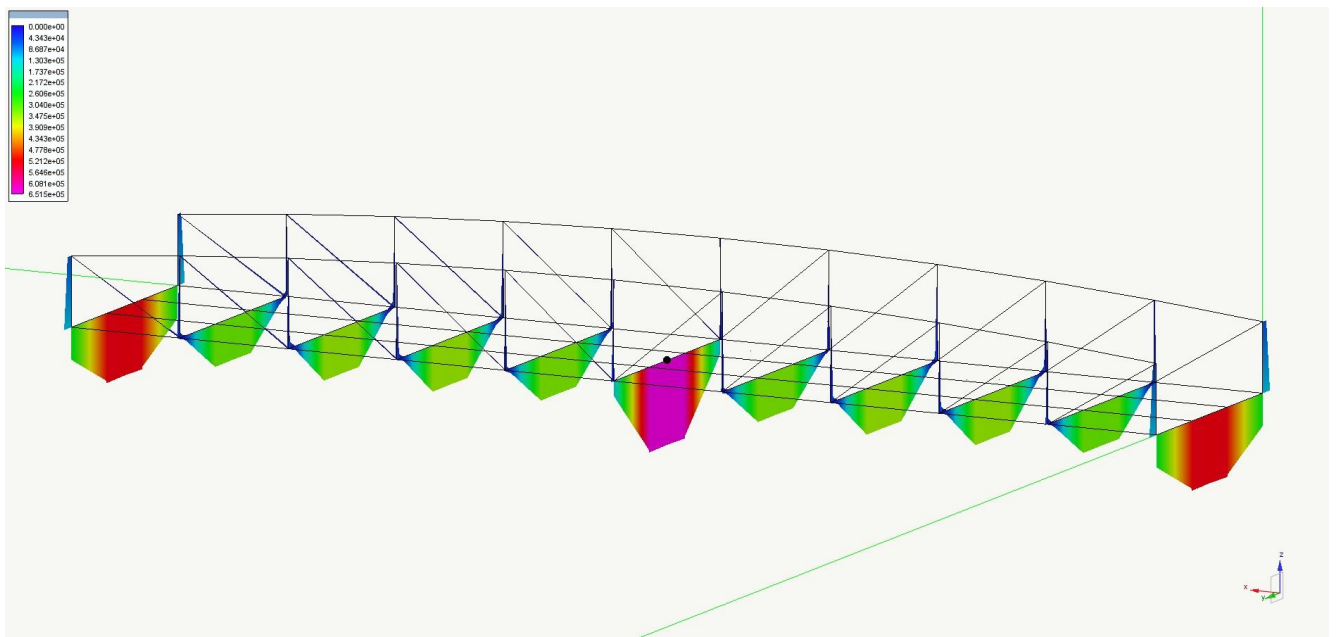


Figura 9 Diagramma di involucro dei momenti M_{zy} - Massimo nodale: 651.492 daNcm

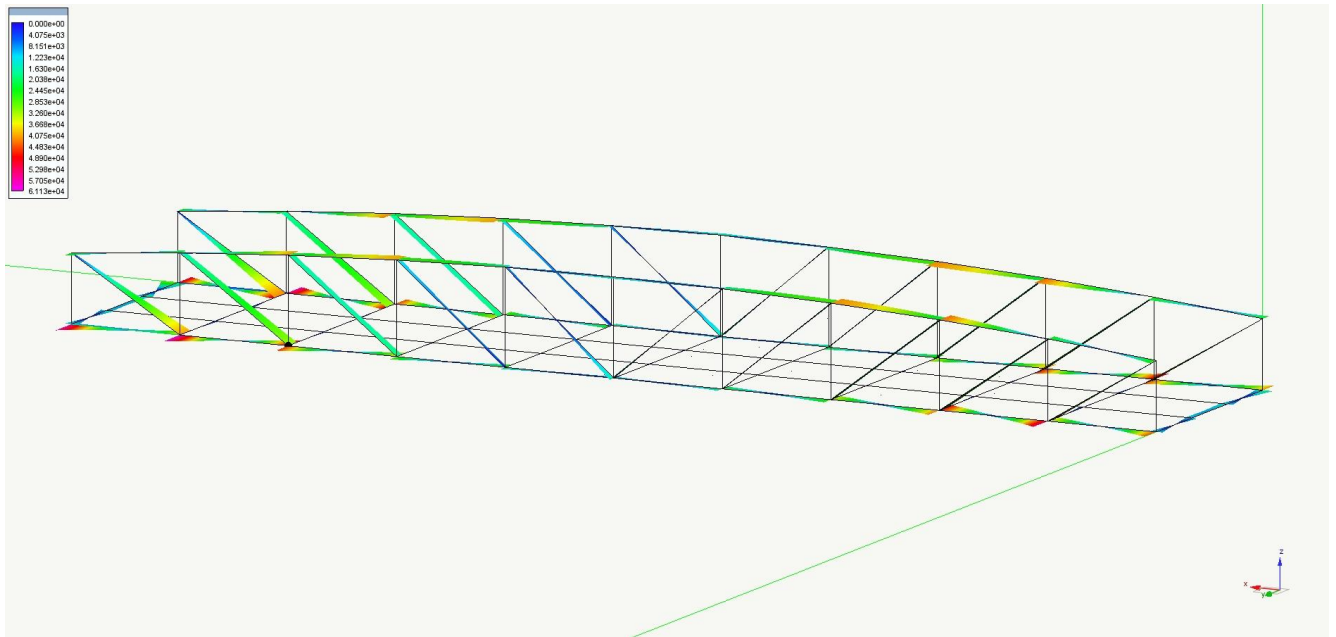


Figura 10 Diagramma di involucro dei momenti M_{xy} - Massimo nodale: 61.130 daNcm

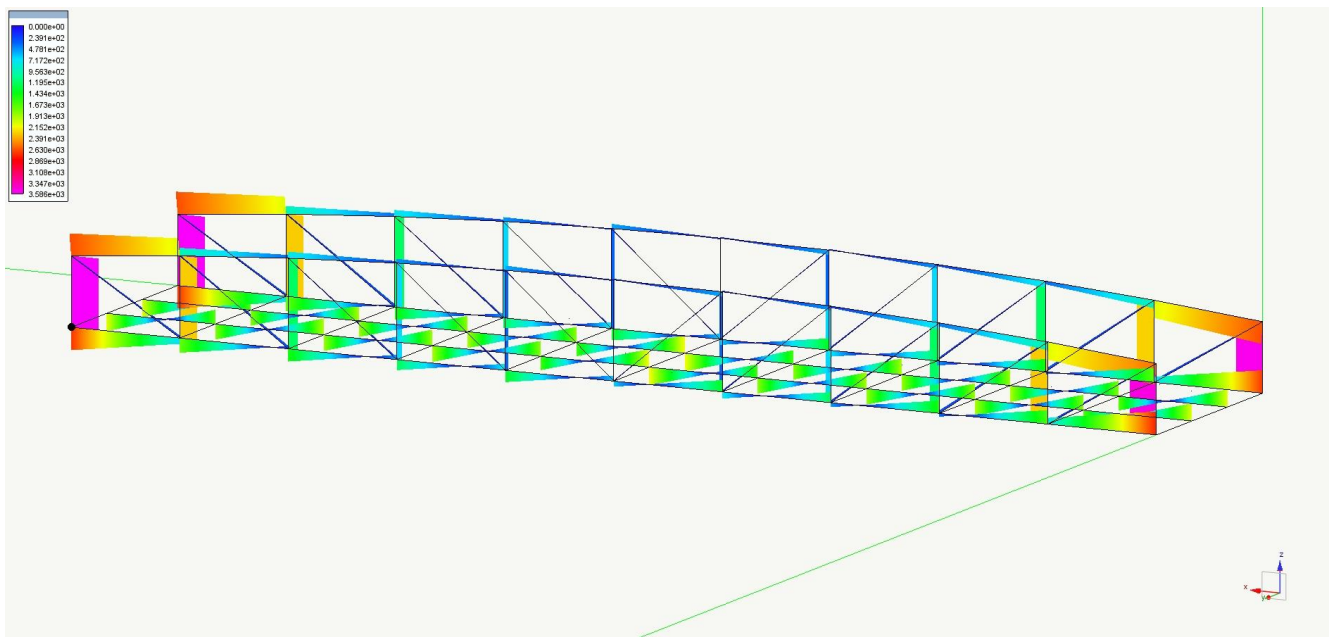


Figura 11 Diagramma di involucro dei tagli T_{zx} - Massimo nodale: 3.586 daN

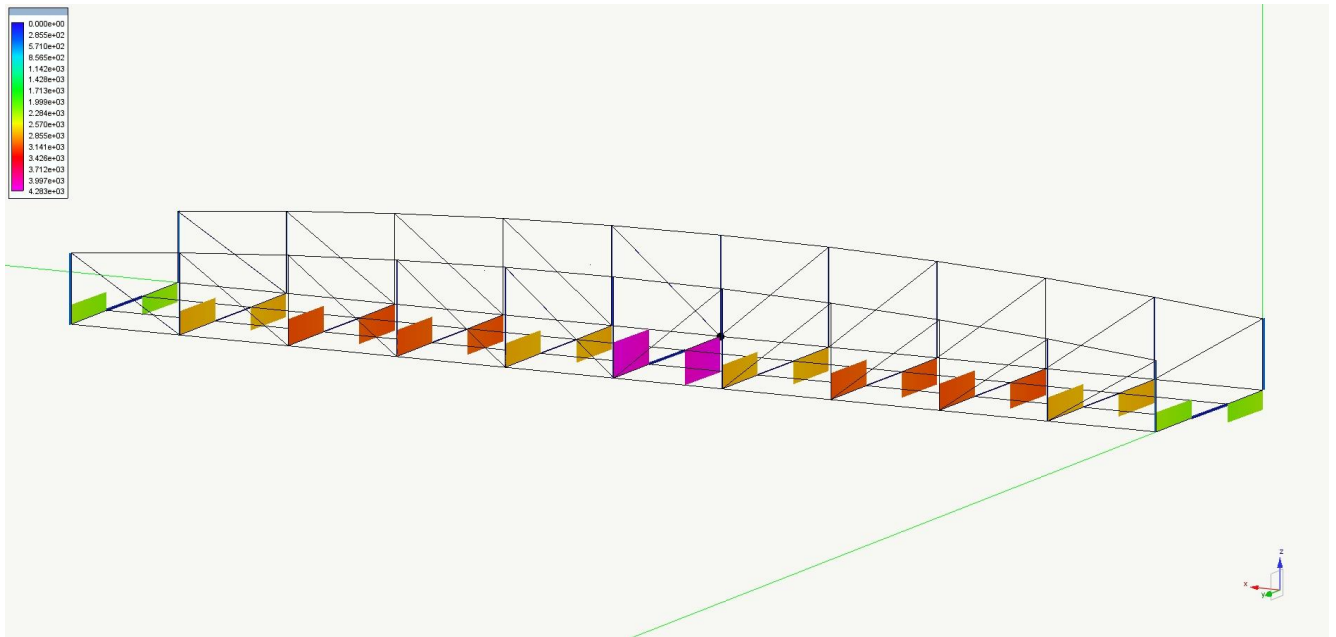


Figura 12 Figura 12 Diagramma di involucro dei tagli Tzy - Massimo nodale: 4.282 daN

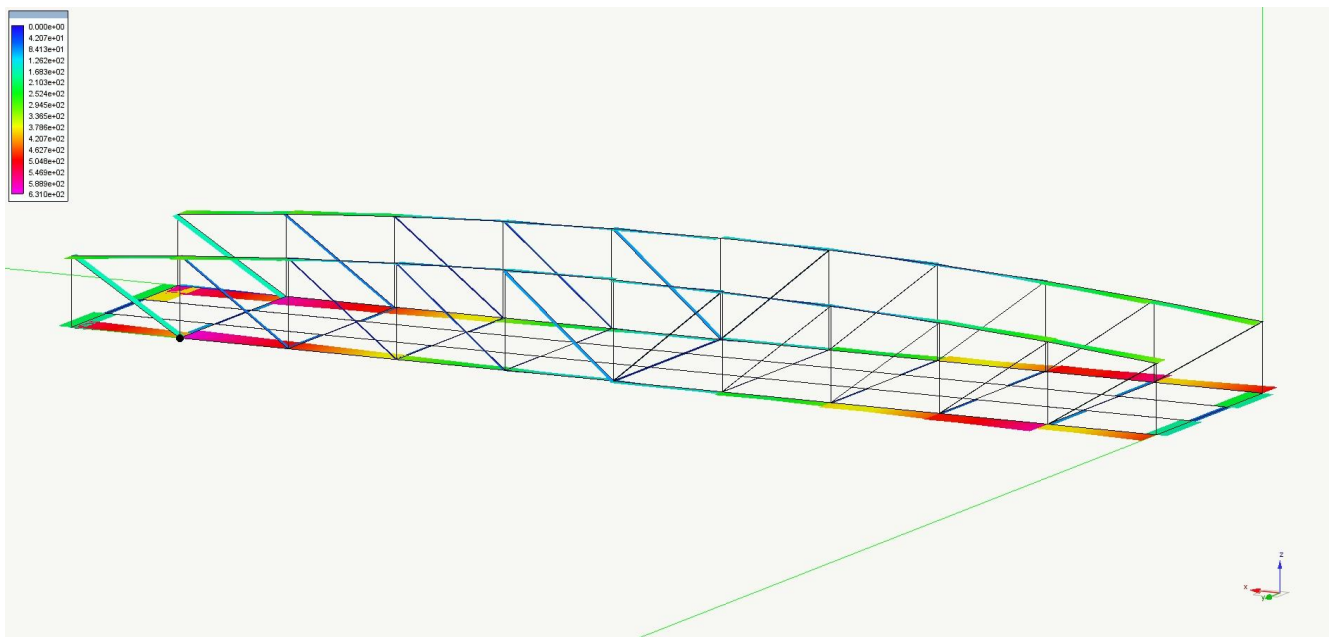


Figura 13 Figura 12 Diagramma di involucro dei tagli Txy - Massimo nodale: 1631 daN

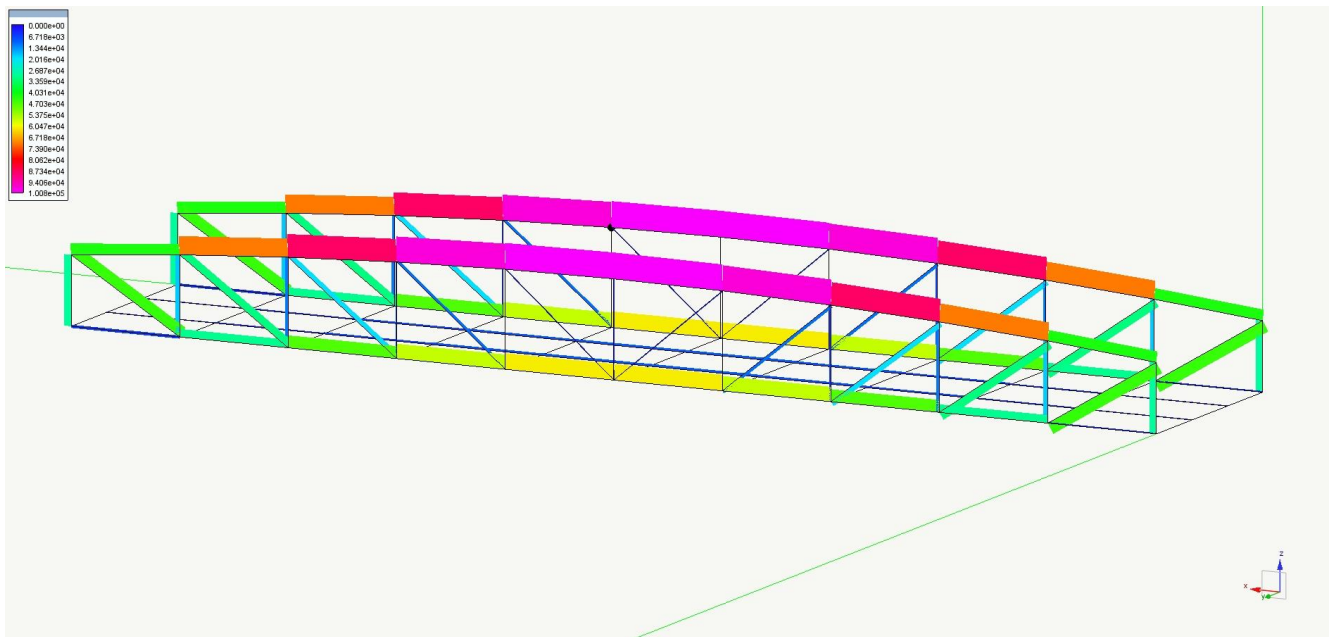


Figura 14 Figura 12 Diagramma di involucro degli sforzi assiali N- Massimo nodale: 100.776 daN

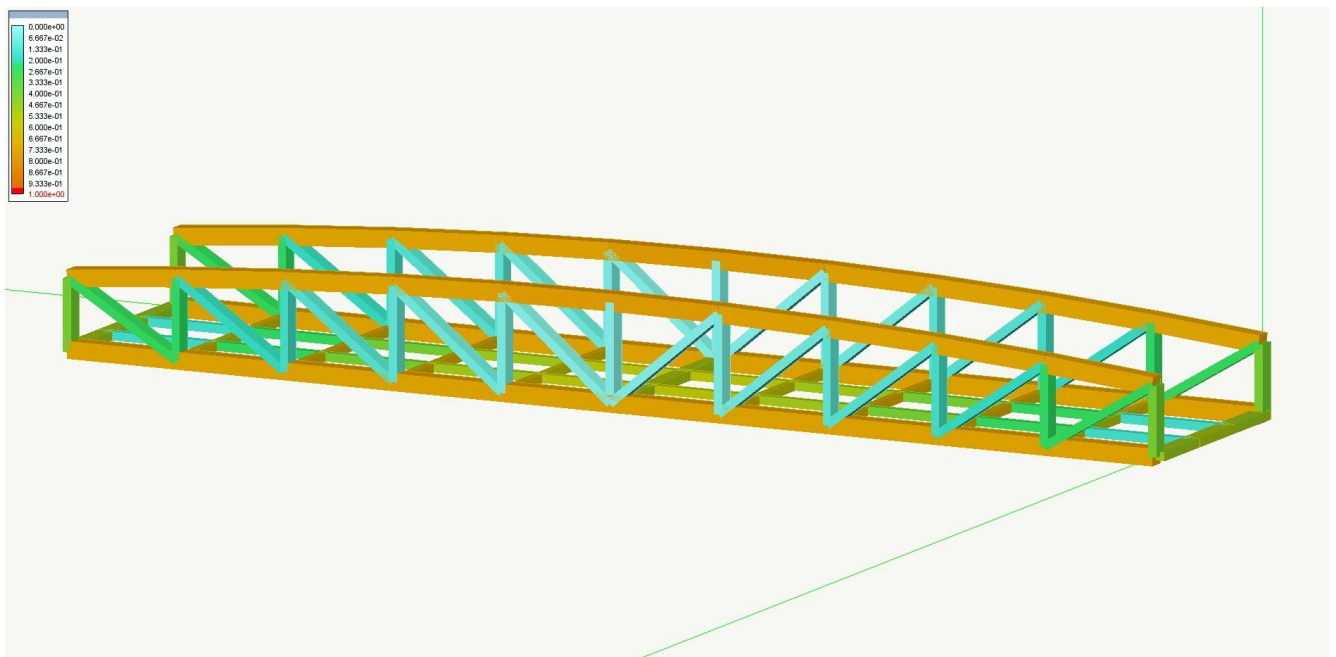


Figura 15 Figura 12 Fattore di sfruttamento dei profili - Massimo 0,751

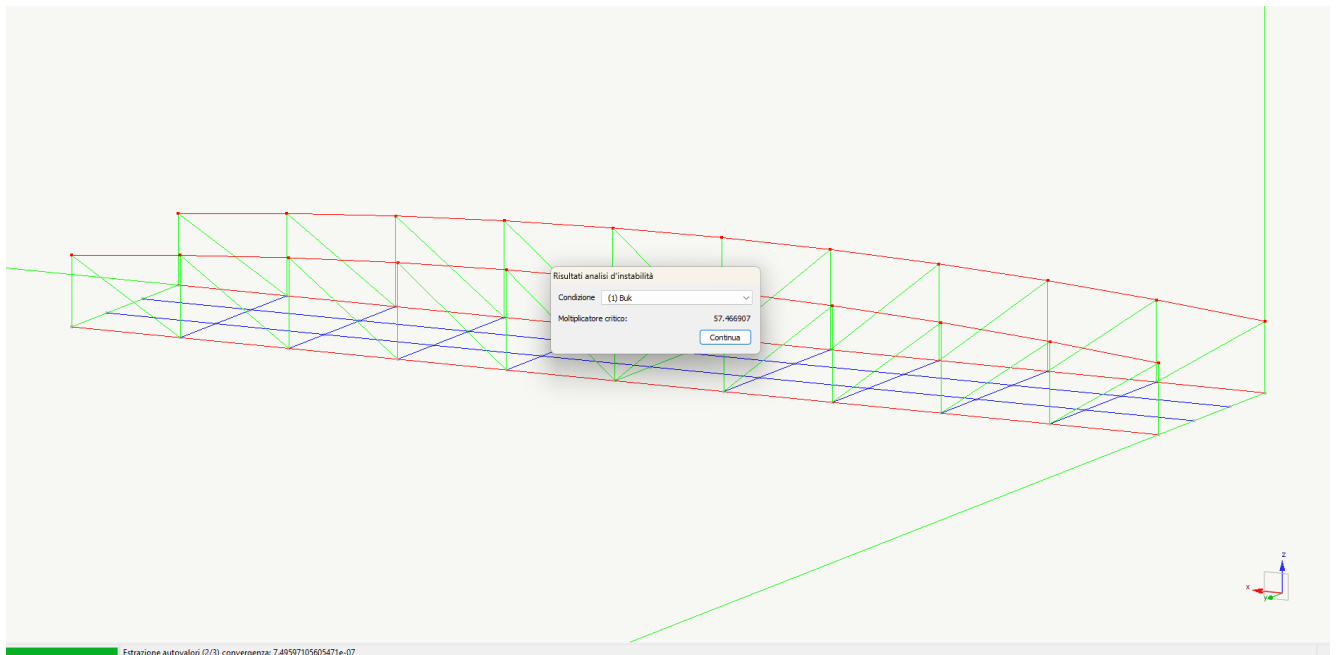


Figura 16 Analisi di instabilità - Moltiplicatore critico 57

I risultati ottenuti in questa prima fase concordano con i risultati ottenuti nel predimensionamento manuale. L'analisi di stabilità ha evidenziato un valore del Moltiplicatore critico dei carichi SLV, pari a $57 > 10,0$. Pertanto sarà possibile sottoporre la struttura ad analisi statica e dinamica con il metodo dello spettro di risposta.