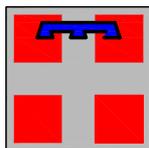




Autostrada Asti-Cuneo



PROVINCIA DI ASTI



REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI CUNEO

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE ASTI - CUNEO

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)
LOTTO 6 RODDI - DIGA ENEL

PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO E AMBIENTALE

OPERE A VERDE COMPLEMENTARI E D'INSERIMENTO PAESAGGISTICO

BAT BRIDGE 1

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

Aggiornato: 00	Data : Apr. 2013	Descrizione: EMISSIONE	Redatto: Ing. Schibuola	Controllato: Ing. Spoglianti	Approvato: Ing. Ghislandi	Codifica: 2.6 E - r F.2.1.46
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Lotto Prog. Tipo Elaborato
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data: Marzo 2015
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Scala: -



PROGETTISTA e RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Enrico Ghislandi
Albo di Milano
N° A 16993

CONCESSIONARIA:





INDICE

1. INTRODUZIONE.....	2
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	2
3. MATERIALI STRUTTURALI.....	3
4. ANALISI DEI CARICHI.....	6
5. ANALISI SISMICA DELLA STRUTTURA.....	25
6. ANALISI DINAMICA MODALE.....	25
7. ANALISI E CALCOLO DELLE STRUTTURE.....	27
8. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.....	27
9. CRITERI DI CALCOLO.....	28
10. MODELLO DI CALCOLO.....	28
11. VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI.....	31
12. VERIFICA PILASTRI.....	32
13. VERIFICA ELEMENTI TRASVERSALI DI COLLEGAMENTO.....	38
14. VERIFICA PIASTRA DI FONDAZIONE.....	44
15. VERIFICA CAVI IN ACCIAIO.....	47
16. VALUTAZIONE FRECCIA MASSIMA.....	50



1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustrativa e di calcolo ha lo scopo di riportare i criteri progettuali, le caratteristiche dei materiali impiegati e i principali calcoli di verifica giustificativi delle soluzioni strutturali e dei dimensionamenti previsti per la realizzazione dell'opera denominata Bat Bridge.

L'edificio in oggetto è sito nel comune di Verduno, in provincia di Cuneo, le cui coordinate geografiche espresse in gradi decimali sono le seguenti: latitudine = 44.66561190, longitudine = 7.92953960. Il sito, con riferimento alla zonizzazione sismica è stato classificato come zona 4.

L'opera bat bridge, è costituita da una rete tesa senza interruzioni trasversalmente alle due rispetto alla carreggiata, avente una maglia annodata 4,5 x 4,5cm di colore nero, tenuta in tensione da cavi di acciaio. Le strutture portanti sono costituite da pali accoppiati di altezza circa 10 m posti ad una distanza di due metri per garantire una sufficiente ampiezza al corridoio. Tale corridoio presenta una specie di invito verso i due lati del territorio aperto realizzato sempre con la medesima rete e connesso ai corridoio vegetati presenti lungo l'infrastruttura con apposita vegetazione di bordo.

La struttura è costituita da colonne in acciaio, collegate da n. 3 funi di acciaio a sostegno della rete a maglie annodate, le colonne sono collegate fra di loro mediante traversi in tubolari di acciaio fondate su un plinto in c.a.. Anche le funi sono ancorate su fondazioni in c.a. con funzione di zavorra.

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

I calcoli sono stati eseguiti con i normali metodi della scienza delle costruzioni e le verifiche condotte con il metodo degli stati limite facendo riferimento alla seguente normativa:

- **D.M. 14.01.2008**, Norme Tecniche per le Costruzioni.
- **Circ. Min. 617 del 02.2.2009**, Ministero Infrastrutture e Trasporti.



3. MATERIALI STRUTTURALI

Sono riportate le caratteristiche meccaniche e le proprietà dei materiali strutturali che verranno impiegati:

- **Calcestruzzo per fondazioni**

C25/30

Caratteristiche:

Classe di resistenza del calcestruzzo	Rck = 30.00 N/mm ²
Resistenza cilindrica caratteristica	fck = 24.90 N/mm ²
Resistenza cilindrica di calcolo	fcd = 14,11 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	fctk = 1.79 N/mm ²
Resistenza car. a trazione per flessione (frattile 5%)	fcfk = 2.15 N/mm ²

- **Acciaio per armature di c.a.**

B450C

Caratteristiche:

Tensione di rottura caratteristica	ftk = 540 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica	fyk = 450 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo	fyd = 391.3 N/mm ²

- **Acciaio per strutture metalliche :**

TIPO S 355 - ZINCATO A CALDO

Caratteristiche:

Spessore nominale dell'elemento t < 40mm	
Tensione di rottura caratteristica	ftk = 510 N/mm ²
Tensione di snervamento caratteristica	fyk = 355 N/mm ²
Tensione di snervamento di calcolo	fyd = 338 N/mm ²
Spessore nominale dell'elemento 40 < t < 80mm	



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} = 470 \text{ N/mm}^2$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = 319 \text{ N/mm}^2$

- **Acciaio per armonico** :

FUNE IN ACCIAIO ARMONICO

Caratteristiche:

Tensione caratteristica di rottura	$f_{ptk} = 1860 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica all' 1% di deformazione totale	$f_{p(1)k} = 1670 \text{ N/mm}^2$

- **Bulloni e chiodi**

VITI AD ALTA RESISTENZA

CL 8.8

DADI

CL 8

Caratteristiche:

Tensione di rottura	$f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$
Tensione di snervamento	$f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$

Saldature a completo ripristino della sezione resistente ad eccezione di altre specifiche

Le resistenze di calcolo saranno valutate mediante la seguente espressione:

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

dove

$$\gamma_c = 1.5$$

$$\gamma_s = 1.15 \text{ (per acciaio da c.a.)}$$

$$\gamma_s = 1.05 \text{ (per acciaio da carpenteria metallica)}$$

Coeff. parziali collegamenti:

resistenza dei bulloni

$$g_{m2} = 1.25$$

resistenza dei chiodi $g_{m2} = 1.25$

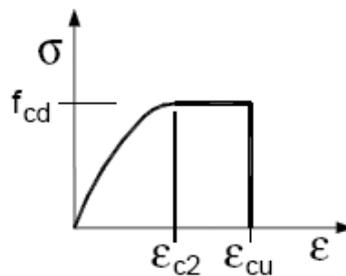
resistenza delle saldature a parziale penetrazione o cordone d'angolo $g_{m2} = 1.25$

In sede di progettazione verranno assunti i seguenti moduli elastici:

$$E_c = 22000 * [(f_{ck} + 8) / 10]^{0.3}$$

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Per il diagramma tensione - deformazione del calcestruzzo verrà adottato un modello parabola - rettangolo rappresentativo del reale comportamento del materiale, modello definito in base alla resistenza di calcolo f_{cd} ed alla deformazione ultima ϵ_{cu} .



Modello $\sigma - \epsilon$ del calcestruzzo

In particolare si pone:

$$\epsilon_{c2} = 0.20\% ; \epsilon_{cu} = 0.35$$

Per il diagramma tensione - deformazione dell'acciaio verrà adottato un modello elastico - perfettamente plastico indefinito, rappresentativo del reale comportamento del materiale, modello definito in base al valore di calcolo $\epsilon_{ud} = 0,9\epsilon_{uk}$ ($\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$) della deformazione uniforme ultima, al valore di calcolo della tensione di snervamento f_{yd} ed al rapporto di sovraresistenza $k = (f_t / f_y)_k$.



4. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano a seguire le azioni del vento, della neve, sismiche e dinamiche dei veicoli, utilizzate nel dimensionamento e nella verifica degli elementi strutturali.

Le analisi dei carichi sono state condotte facendo riferimento alle prescrizioni riportate nella normativa tecnica di riferimento DM 2008. Le azioni considerate si distinguono nei seguenti casi:

- G1 peso proprio degli elementi strutturali
- G2 peso proprio di tutti gli elementi non strutturali
- Q azioni variabili
- E azioni sismiche derivanti dai terremoti

I carichi elementari sono stati combinati nel rispetto delle prescrizioni di normativa adottando le seguenti formulazioni:

combinazione statica SLU

$$Y_{G1} \cdot G_1 + Y_{G2} \cdot G_2 + Y_{Q1} \cdot Q_{k1} + Y_{Q2} \cdot Q_{k2} \dots$$

combinazione statica caratteristica rara SLE

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

combinazione sismica (SLO e SLV)

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

Tabella 2.6.1		Coeff.	STR
Carichi perm.	favorevoli	γ_{G1}	1.0
	sfavorevoli		1.3
Carichi perm. non strutturali	favorevoli	γ_{G2}	0.0
	sfavorevoli		1.5
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0.0
	sfavorevoli		1.5

Tabella 2.5.1	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Vento	0.6	0.2	0.0
Neve (quota < 1000m s.l.m.)	0.5	0.2	0.0



Perm. strutturali G1

p.p. elementi in c.a.
peso specifico c.a. 25.0 kN/m³

p.p. di travi in acciaio
peso specifico acciaio 78.5 kN/m³

Vento Q1

La pressione del vento è data dalla seguente espressione:

$$P = q_b c_e c_p c_d$$

dove:

$q_b = 1/2 \rho v_b^2$ = pressione cinetica di riferimento (in N/m²) con ρ (densità dell'aria)

c_e = coefficiente di esposizione;

c_p = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);

c_d = coefficiente dinamico.

La velocità di riferimento v_b , in mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche, è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b0} \text{ per } a_s \leq a_{s0}$$

Nel caso in esame:

- $a_s = 381$ m s.l.m. altitudine del sito sul livello del mare;
- regione Piemonte (zona 1) da cui (Tab 3.3.I. DM2008):
 $v_{b,0} = 25$ m/s; $a_{s0} = 1000$ m; $k_a = 0.010$ 1/s

quindi poiché: $v_b = 25$ m/s;

si ottiene:

$$q_b = 391 \text{ N/m}^2$$

Il coefficiente dinamico c_d può essere assunto cautelativamente pari a 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente.

Per quanto riguarda l'elemento orizzontale in rete sorretta da trefoli, il coefficiente di forma c_p è stato scelto pari a +0,8 per le superfici sopra vento e -0,4 per le superfici sotto vento.



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Per quanto concerne le quattro colonne verticali il coefficiente di forma c_p è stato scelto pari a +2,40 come suggerito nella Circolare n° 617/C.S.LL.PP. del 02/02/2009 al paragrafo C3.3.10.5.

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z dal suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche, esso è dato dalle seguenti formule:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$
$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Nel caso in esame:

- zona 1
- classe di rugosità del terreno: D (Tabella 3.3.II. DM2008)
- distanza dalla costa: >30 Km
- categoria di esposizione del sito: II (Tabella 3.3.III DM2008)

da cui: $k_r = 0.19$; $z_0 = 0.05$ m; $z_{\min} = 4$ m.

Si è proceduto al calcolo del coefficiente di esposizione c_e e della relativa pressione del vento alle varie quote:

Calcolo pressione del vento		
Zona	1	Regione Piemonte
$v_{b,0}$	25 m/s	valori (Tab. 3.3.I NTC 2008)
a_0	1000 m	
K_a	0.01 1/s	
a_s	381 m s.l.m.	altitudine sul livello del mare del sito in esame
v_b	25 m/s	velocità di riferimento del vento
ρ	1.25 Kg/m ³	densità dell'aria
$q_b = 1/2 \times \rho \times v_b^2$	391 N/m ²	pressione cinetica di riferimento q_b
Classe di rugosità del terreno	D Tab.3.3.III	Aree prive di ostacoli
Distanza dal mare	>30 km	
Categoria di esposizione del sito	II	Fig. 3.3.2
K_r	0.19	valori (Tab. 3.3.II NTC 2008)
z_0	0.05 m	
z_{\min}	4 m	



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

z_{max}	9 m	altezza massima della struttura dal suolo
$\ln(z/z_0)$	5.1929569	
$\ln(z_{min}/z_0)$	4.3820266	
c_t	1	coefficiente di topografia
$c_{e,max}$	2.29	coefficiente di esposizione
z_{med}	4 m	altezza del baricentro del palo
$\ln(z/z_0)$	4.3820266	
$c_{e,med}$	1.80	coefficiente di esposizione
c_d	1	coefficiente dinamico

Pressione orizzontale del vento su faccia sopravento elemento orizzontale in rete		
c_p	0.80	coefficiente di forma
$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$	714.30 N/m ²	
Pressione orizzontale del vento su faccia sottovento elemento orizzontale in rete		
c_p	-0.40	coefficiente di forma
$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$	-357.15 N/m ²	

Pressione orizzontale del vento su palo verticale (tra 4m e 8m)		
c_p	2.40	coefficiente di forma
$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$	2142.90 N/m ²	
Pressione orizzontale del vento su palo verticale (sotto i 4m)		
c_p	2.40	coefficiente di forma
$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$	1688.00 N/m ²	

L'azione del vento è stata considerata alternativamente lungo entrambe le direzioni principali dell'edificio ed applicata sugli elementi strutturali perimetrali in funzione dell'area d'influenza ricoperta da ciascuno di questi.

Neve Q2

Il carico provocato dalla neve sul ponte è stato valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_1 \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

q_s = carico da neve;

μ_i = coefficiente di forma della copertura;

q_{sk} = valore di riferimento caratteristico del carico da neve al suolo [kN/m²] per un periodo di ritorno di 50 anni;

C_E = coefficiente di esposizione;

C_t = coefficiente termico.

Il valore di riferimento caratteristico minimo del carico da neve al suolo risulta:

$q_{sk} = 1.77 \text{ kN/m}^2$ per una costruzione in ZONA I (comune Cuneo) ad una quota $a_s > 200 \text{ m s.l.m.}$

In generale per il carico da neve vengono assunti i coefficienti di forma contenuti nella tabella 3.4.II. - DM2008 riportata nel seguito:

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_i	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Nel caso in esame:

$\mu_i = 0.8$ (evidenziato in tabella).

Il coefficiente di esposizione C_E per una topografia “Normale” (area in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento) si assumerà pari a 1.

Per il coefficiente termico C_t , in assenza di uno specifico e documentato studio, si assumerà un valore pari a 1.

Quindi riassumendo:

$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t = 0.8 \times 1.77 \times 1 \times 1 = 1.42 \text{ kN/m}^2$$

Calcolo carico neve: Verduno (Cuneo)		
$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_E * C_t$	1.42 kN/m ²	carico neve sulla copertura
dove:		
μ_i	0.80	coefficiente di forma della copertura
q_{sk}	1.77 kN/m ²	carico neve sulla copertura
C_E	1.00	coefficiente di esposizione
C_t	1.00	coefficiente termico



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

α	30.00	angolo di inclinazione falda
Zona I- Alpina		
q_{sk}	1.50 kN/m ²	valore caratteristico carico da neve per as < 200 m
$q_{sk}=1,39*(1+(a_s/728)^2)$	1.77 kN/m ²	valore caratteristico carico neve per as > 200 m
a_s	381.00 m	altezza livello del mare sito

Azione dinamica dei veicoli

Pressione verticale del vento su elemento orizzontale in rete per effetti aerodinamici associati al passaggio dei veicoli		
v_{max}	200.00 km/h	velocità massima veicoli
q_{2k}	500.00 N/m ²	pressione verticale § 5.2.2.7.3 - NTC 2008 - fig. 5.2.9

Valutazione dell'azione sismica E

La struttura in esame è sita a Verduno nel comune di Cuneo, pertanto in base alla nuova zonizzazione sismica appartiene alla zona classificata 4.

Dalla relazione geologica identificata con il n. 2.6 rE-rB.1.1.01-00 sono stati estrapolati i seguenti parametri sismici dell'area oggetto della presente relazione:

- **categoria di sottosuolo C**
- **categoria topografica del terreno di fondazione T1 (superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$)**

Nella definizione dello spettro di risposta elastico in accelerazione e di conseguenza dell'azione sismica agente, sono stati utilizzati gli stessi parametri sismici riportati nella relazione geologica sopracitata. Ovvero si è adottata una categoria di sottosuolo C e una categoria topografica T1.

La costruzione in oggetto risulta classificata tra le opere "Ordinarie...di importanza normale", la cui vita nominale V_N sarà assunta pari a:

$$V_N \geq 50 \text{ anni.}$$

In presenza di azioni sismiche, la struttura progettata appartiene alla Classe d'uso II ovvero "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi."

Nota la classe d'uso, facendo riferimento al par. 2.4.3 del DM 2008:

Classe d'uso II

Coeff. CU 1.5

$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.0 = 50$ anni.

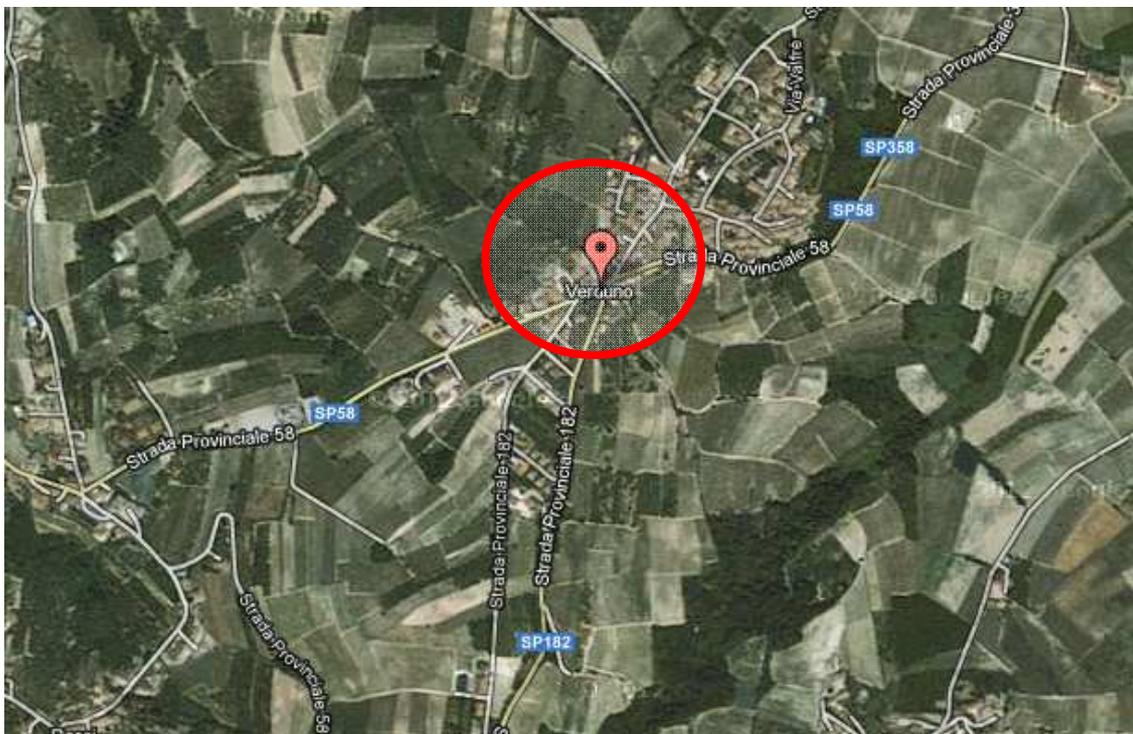
Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Le azioni sismiche orizzontali, applicate separatamente nelle due direzioni ortogonali, sono state combinate sommando ai massimi valori, ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi valori ottenuti applicando l'azione sismica nell'altra direzione:

$$E = 1.0 E_x + 0.3 E_y$$

$$E = 1.0 E_y + 0.3 E_x$$

Nel rispetto delle prescrizioni di normativa l'azione sismica agente sulla struttura è stata calcolata attraverso spettri di risposta i cui parametri sono di seguito definiti.





Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Latitudine: 44.66561190 Longitudine: 7.92953960

Classe dell'edificio: II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti....

Vita Nominale Struttura 50

Periodo di Riferimento per l'azione sismica 50

"Stato Limite"	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T^*_c [s]
Operatività	30	0.021	2.592	0.160
Danno	50	0.026	2.575	0.190
Salvaguardia Vita	475	0.051	2.702	0.290
Prevenzione Collasso	975	0.060	2.801	0.301

Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 7.92954 LATTITUDINE: 44.66561

Ricerca per comune REGIONE: Piemonte PROVINCIA: Cuneo COMUNE: Verduno

Elaborazioni grafiche: Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche: Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo: Sito esterno al reticolo, Interpolazione su 3 nodi, Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, a "Ricerca per coordinate".



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - $P_{VR} = 81\%$ info
SLD - $P_{VR} = 63\%$ info

Stati limite ultimi - SLU { SLV - $P_{VR} = 10\%$ info
SLC - $P_{VR} = 5\%$ info

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

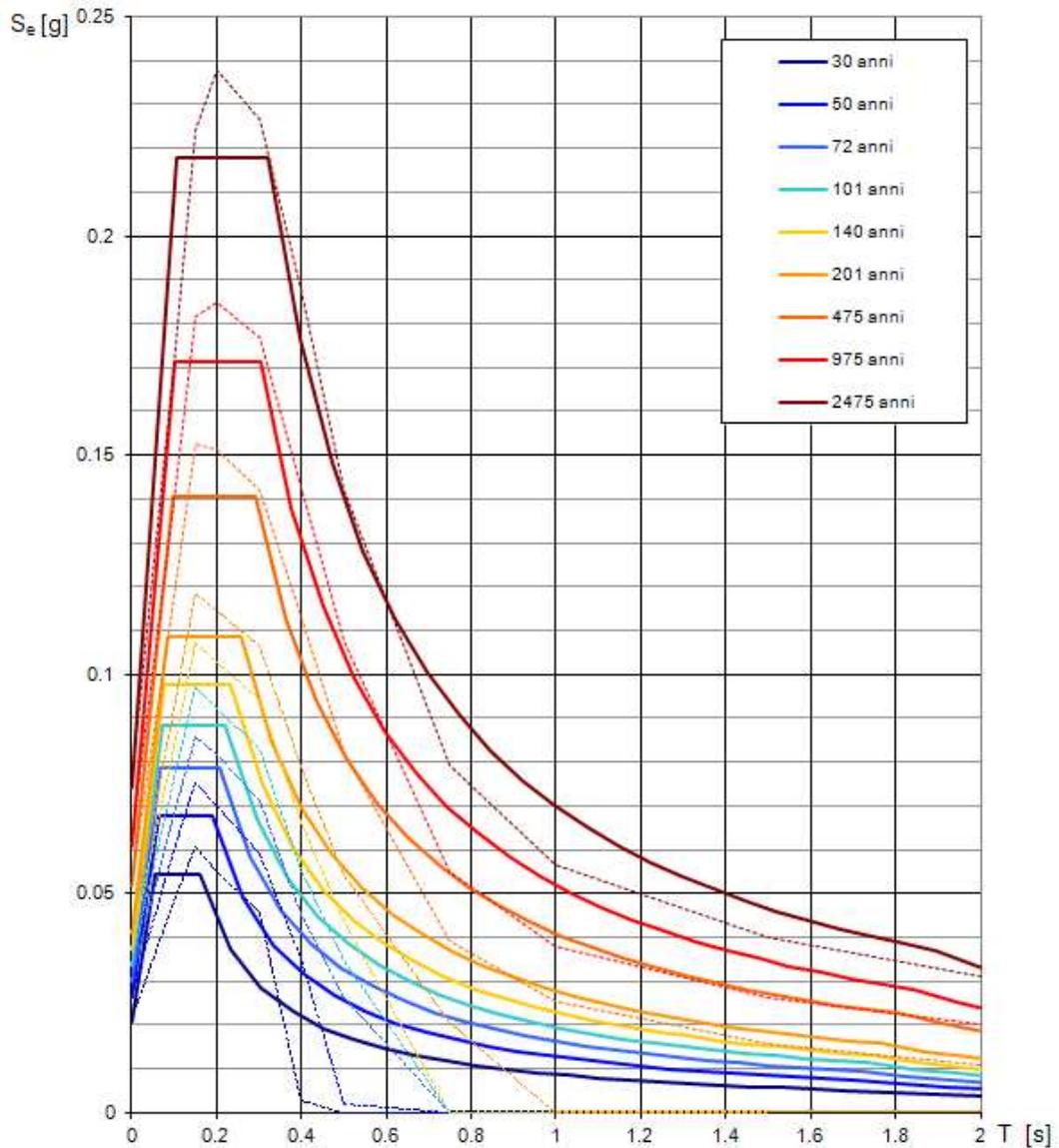


LEGENDA GRAFICO

--□-- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

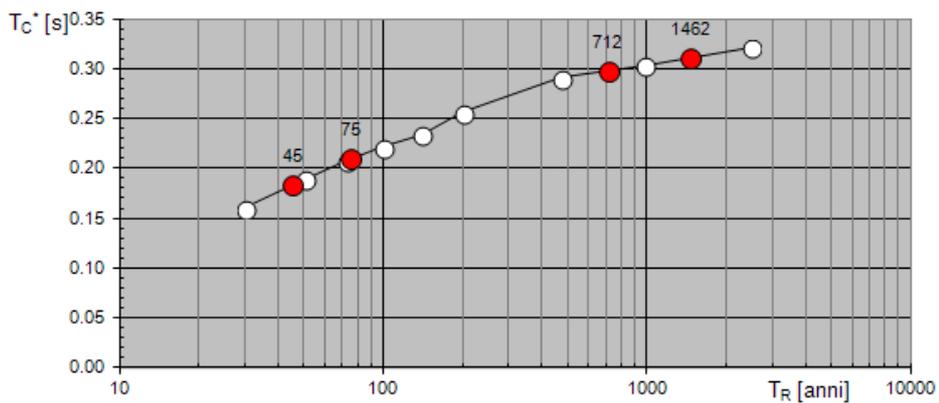
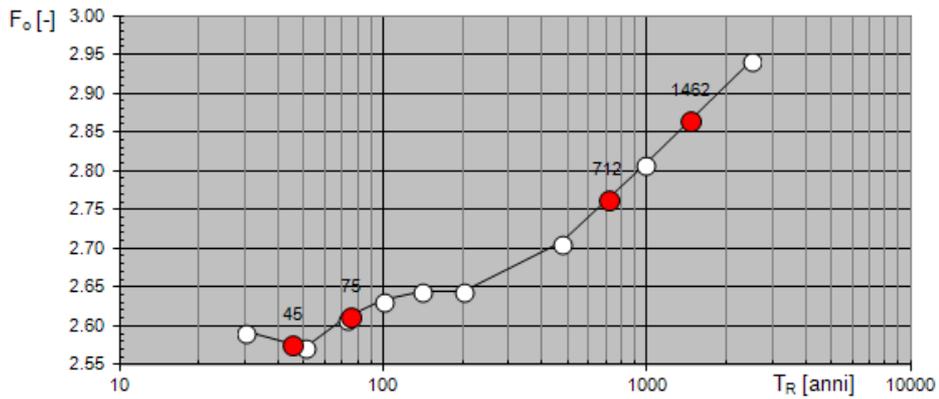
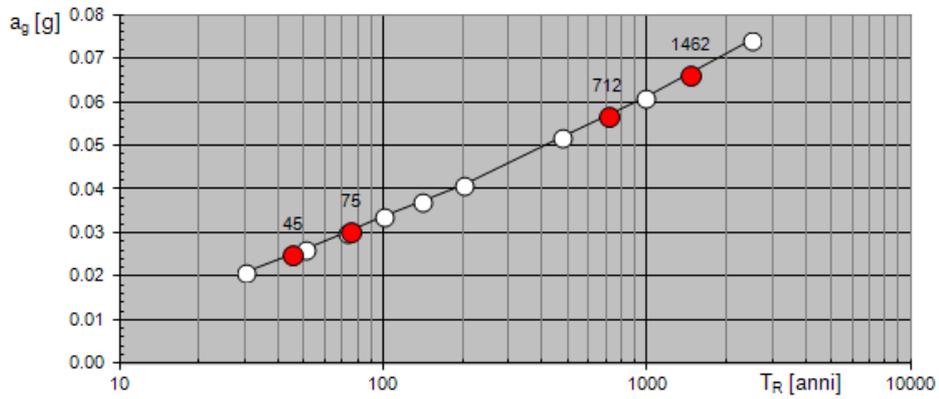
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



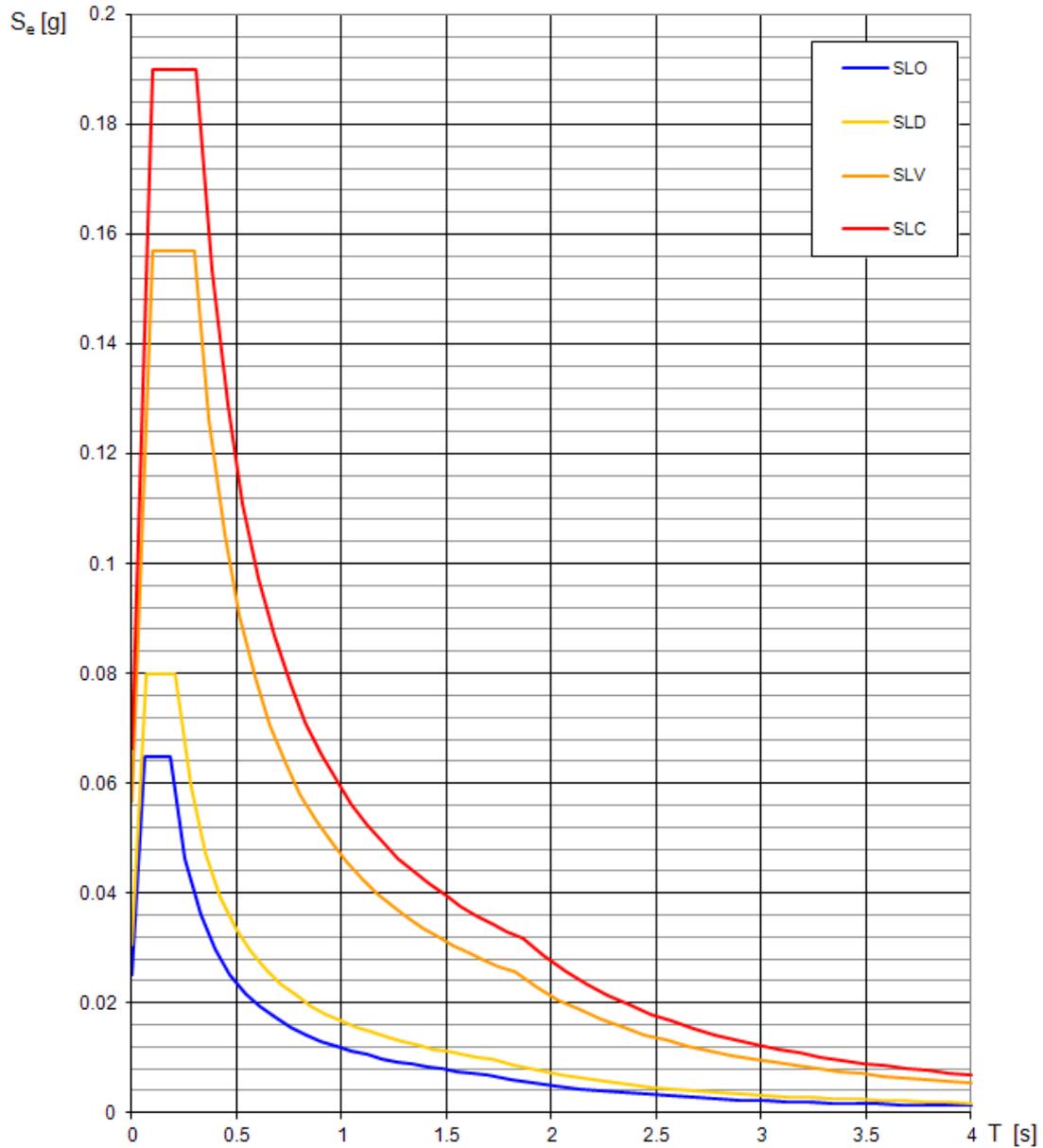
NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

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





Fattore di struttura

In accordo con quanto disposto al punto 7.5.2.2 delle NTC 2008 (“Progettazione per azioni sismiche”), il fattore di struttura da utilizzare per ciascuna direzione dell’azione sismica orizzontale è:

$q_0 = 2$ per strutture in acciaio a mensola o a pendolo inverso

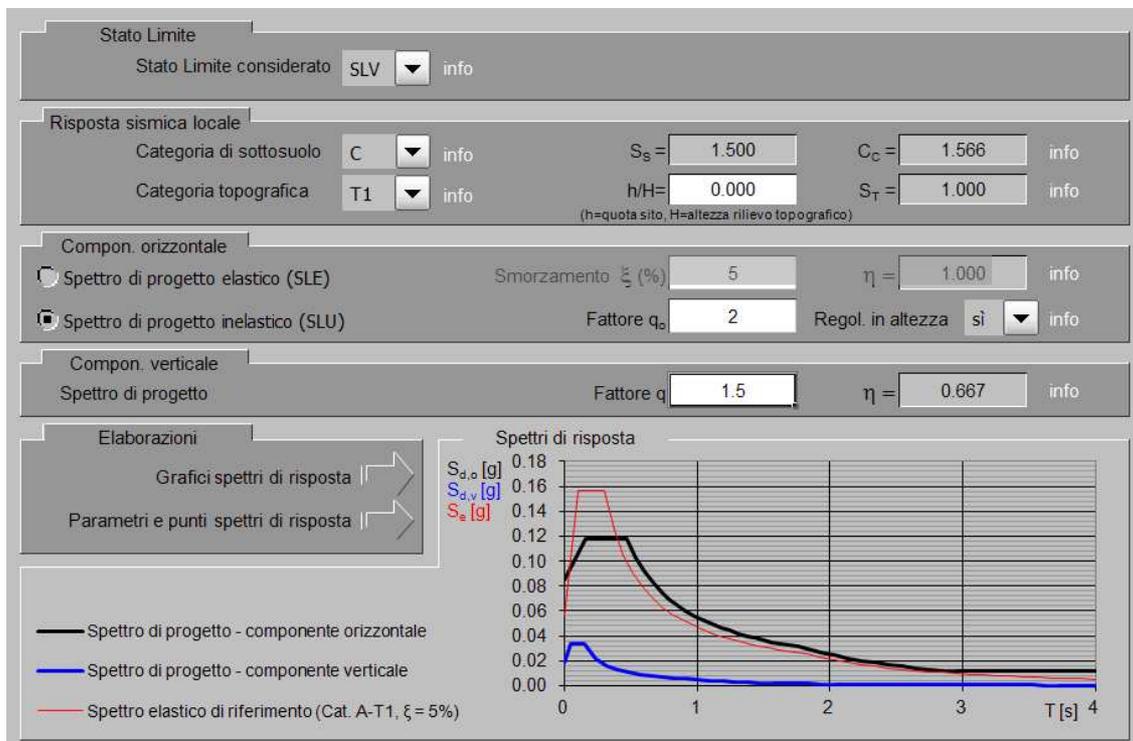
$K_R = 1$ per strutture regolari in altezza

Ne consegue per la componente orizzontale dell’azione sismica:

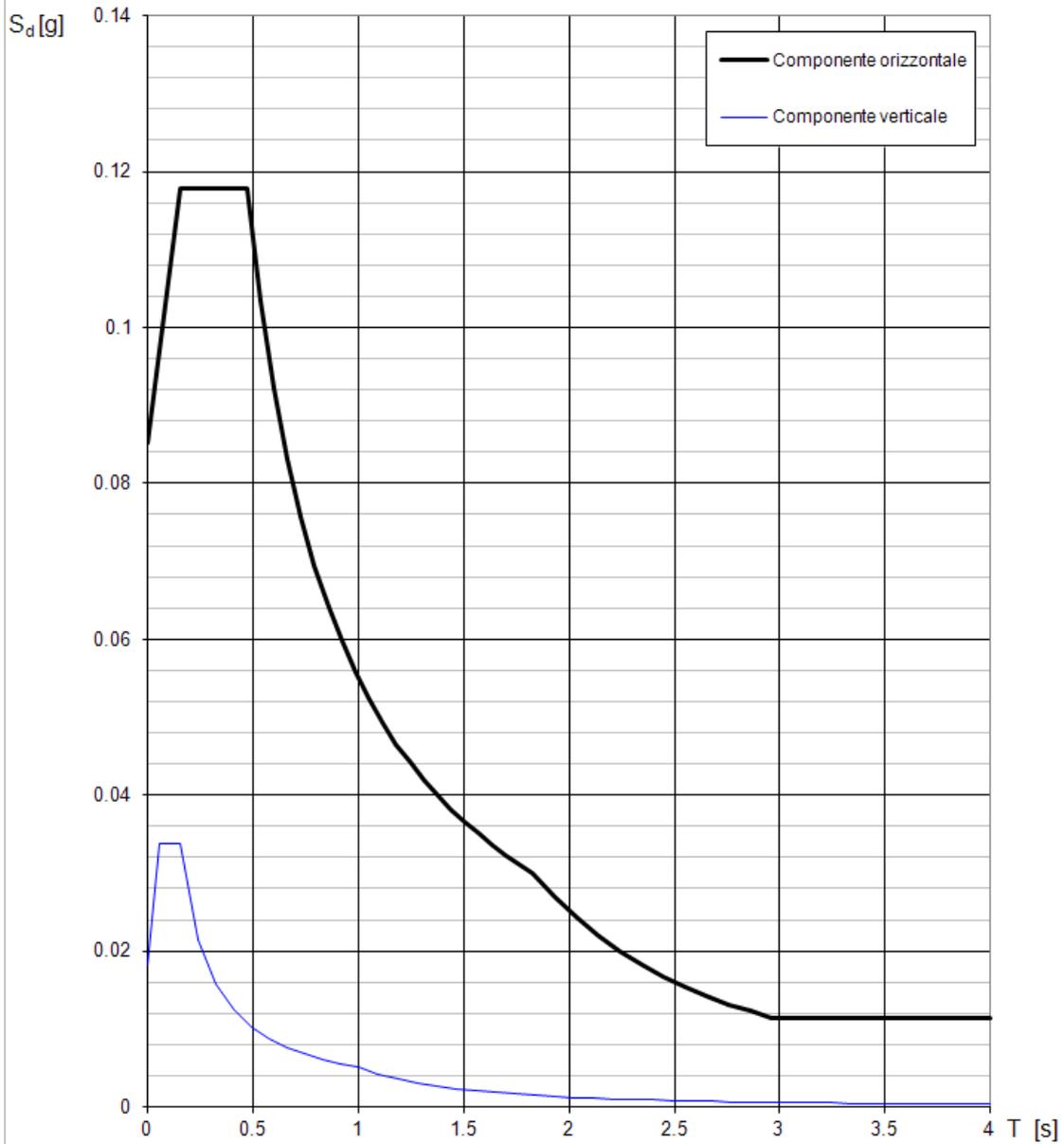
$$q = 2.0 \cdot 1.0 = 2.0$$

Per la componente verticale dell’azione sismica il valore di q utilizzato è pari a $q_{\text{verticale}} = 1.5$ per qualunque tipologia strutturale e di materiale.

- Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)
-



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	0.057 g
F_o	2.764
T_C^*	0.298 s
S_S	1.500
C_C	1.566
S_T	1.000
q	2.000

Parametri dipendenti

S	1.500
η	0.500
T_B	0.155 s
T_C	0.466 s
T_D	1.827 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{1.0 / (S + \xi)} \geq 0.55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

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

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

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

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

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	0.085
$T_B \leftarrow$	0.155	0.118
$T_C \leftarrow$	0.466	0.118
	0.531	0.103
	0.596	0.092
	0.661	0.083
	0.725	0.076
	0.790	0.069
	0.855	0.064
	0.920	0.060
	0.985	0.056
	1.050	0.052
	1.114	0.049
	1.179	0.047
	1.244	0.044
	1.309	0.042
	1.374	0.040
	1.438	0.038
	1.503	0.037
	1.568	0.035
	1.633	0.034
	1.698	0.032
	1.762	0.031
$T_C \leftarrow$	1.827	0.030
	1.931	0.027
	2.034	0.024
	2.138	0.022
	2.241	0.020
	2.345	0.018
	2.448	0.017
	2.552	0.015
	2.655	0.014
	2.758	0.013
	2.862	0.012
	2.965	0.011
	3.069	0.011
	3.172	0.011
	3.276	0.011
	3.379	0.011
	3.483	0.011
	3.586	0.011
	3.690	0.011
	3.793	0.011
	3.897	0.011
	4.000	0.011

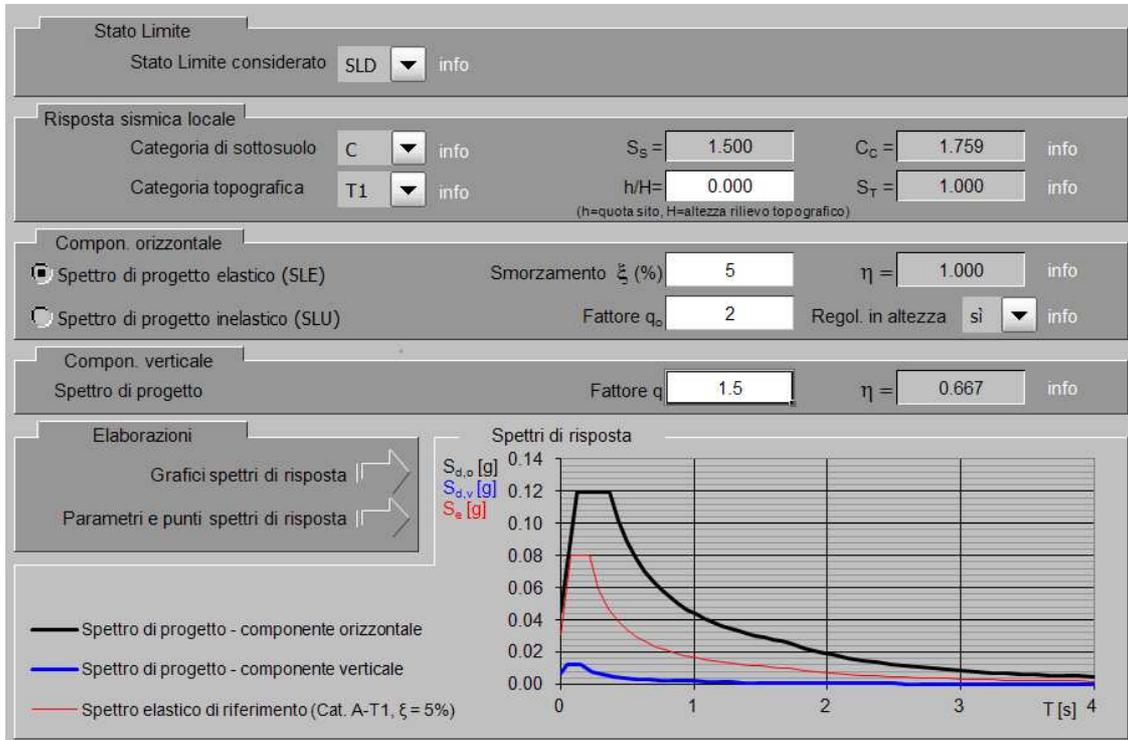


Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

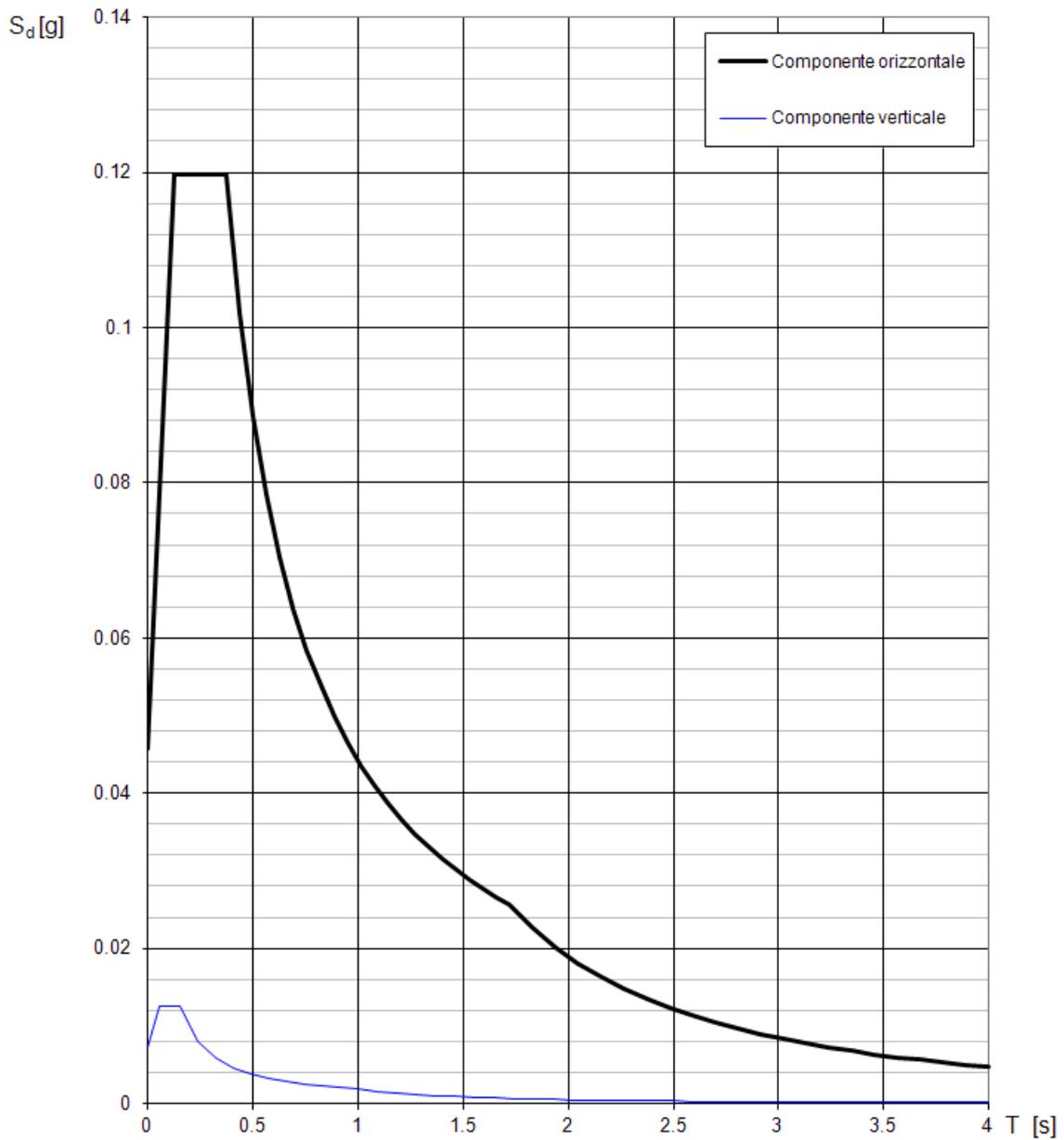


Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

- Stato limite di operatività (SLD)



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	0.031 g
F_0	2.613
T_C^*	0.210 s
S_s	1.500
C_C	1.759
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.500
η	1.000
T_B	0.123 s
T_C	0.368 s
T_D	1.722 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

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

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

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

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

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	0.046
$T_B \leftarrow$	0.123	0.120
$T_C \leftarrow$	0.368	0.120
	0.433	0.102
	0.497	0.089
	0.562	0.078
	0.626	0.070
	0.691	0.064
	0.755	0.058
	0.820	0.054
	0.884	0.050
	0.949	0.046
	1.013	0.044
	1.078	0.041
	1.142	0.039
	1.206	0.037
	1.271	0.035
	1.335	0.033
	1.400	0.032
	1.464	0.030
	1.529	0.029
	1.593	0.028
	1.658	0.027
$T_D \leftarrow$	1.722	0.026
	1.831	0.023
	1.939	0.020
	2.048	0.018
	2.156	0.016
	2.264	0.015
	2.373	0.013
	2.481	0.012
	2.590	0.011
	2.698	0.010
	2.807	0.010
	2.915	0.009
	3.024	0.008
	3.132	0.008
	3.241	0.007
	3.349	0.007
	3.458	0.006
	3.566	0.006
	3.675	0.006
	3.783	0.005
	3.892	0.005
	4.000	0.005



5. ANALISI SISMICA DELLA STRUTTURA

Il D.M. del 14 gennaio 2008 prevede la possibilità di eseguire l'analisi lineare con spettro di risposta, per cui il modello di calcolo adottato è di tipo elastico lineare.

Il modello è caratterizzato da tanti gradi di libertà quanto la reale configurazione strutturale impone, a ciascuno dei gradi di libertà è necessario associare una massa, determinata secondo quanto previsto dalle NTC 2008.

Le verifiche agli stati limite ultimi devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni come già indicato nel paragrafo precedente "Analisi dei carichi e combinazioni delle azioni" e che qui di seguito si riporta:

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

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

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

dove i valori dei coefficienti ψ_{2j} sono ricavati dalle tabelle 2.5.1 e 5.1.VI - DM2008 delle quali si riporta l'estratto di riferimento:

Tabella 2.5.1	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Vento	0.6	0.2	0.0
Neve (quota < 1000m s.l.m.)	0.5	0.2	0.0

6. ANALISI DINAMICA MODALE

Si è eseguita un'analisi dinamica modale associata allo spettro di progetto, tale tipologia di analisi è considerata il metodo più comune per la definizione delle sollecitazioni sismiche di progetto. Lo spettro deve essere applicato su di un modello spaziale della struttura, ad eccezione del caso in cui la struttura rispetti i criteri di regolarità in pianta ed in altezza, in questo caso la normativa di riferimento permette l'esecuzione dell'analisi statica equivalente.

L'analisi modale prevede il calcolo, tramite l'utilizzo dello spettro di risposta di pseudo-accelerazione definito al paragrafo precedente, dei valori massimi di sollecitazioni e spostamenti associati a ciascun modo di vibrare della struttura supponendo un comportamento elastico lineare dei materiali e quindi la loro opportuna combinazione.

Il D.M. del 14 gennaio 2008 stabilisce di considerare nell'analisi dinamica lineare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% o alternativamente un numero di modi tale per cui la massa partecipante risulti superiore all'85%.

Nell'ipotesi che i modi di vibrare non risultino essere indipendenti l'uno dall'altro, cioè $T_j \leq 0.9T_i$ per $T_j \leq T_i$, questi verranno combinati utilizzando una combinazione quadratica completa (CQC) data dalla relazione:

$$E = \left(\sum \sum \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j \right)^{1/2}$$

dove:

$$\rho_{ij} = \frac{(8 \cdot \xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{3/2})}{\left((1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij})^2 \right)}$$

con il seguente significato dei simboli adottati:

$$\beta_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j} \quad (\text{rapporto delle pulsazioni})$$

$$\omega_i = \frac{2 \cdot \pi}{T_i} \quad (\text{pulsazione})$$

Si assume che la struttura abbia un comportamento strutturale dissipativo del tipo:

- Classe di duttilità bassa (CD "B")

Per assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e l'istaurarsi di meccanismi instabili imprevisti, nel presente progetto si è fatto ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

7. ANALISI E CALCOLO DELLE STRUTTURE

I calcoli per il dimensionamento delle strutture in c.a. sono stati condotti con i consueti criteri della Scienza delle Costruzioni e, in particolare, il dimensionamento delle sezioni è stato condotto con il metodo semiprobabilistico agli stati limite mediante programma di calcolo secondo i limiti indicati nella sezione "Materiali utilizzati".

Le azioni sono state cumulate nel modo più sfavorevole, per ciascuna verifica, considerando tutte le possibili combinazioni di carico e comprendendo tutte le azioni prevedibili sulla costruzione.

Nelle pagine seguenti vengono sviluppati completamente i calcoli per alcuni elementi strutturali tipologici; tale metodologia di calcolo può essere estesa a tutti gli altri elementi facenti parte della struttura.

Tutti gli schemi grafici riportati sono fuori scala.

8. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale: $R_d \geq E_d$.

Dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{kj} \cdot \gamma_{Fj}$ delle azioni come indicato nel § 2.5.3, o direttamente $E_{dj} = E_{kj} \cdot \gamma_{Ej}$.

I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{Mj} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale i -esimo e all'azione j -esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere



usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I.

9. CRITERI DI CALCOLO

Le analisi e le verifiche delle strutture sono state condotte con i consueti criteri della Scienza delle Costruzioni, con l'ausilio di codice di calcolo su elaboratore elettronico.

L'analisi sulla struttura è stata eseguita tramite metodo di calcolo agli elementi finiti, ovvero mediante la costruzione di un modello matematico costituito da un numero finito di elementi discreti, per ognuno dei quali è stata definita analiticamente una relazione tra forze e spostamenti. Da queste è stata assemblata la matrice di rigidezza e calcolata infine la risposta dell'intera struttura.

Le verifiche di resistenza strutturale sulle sezioni sono state condotte mediante i consueti criteri della tecnica delle costruzioni.

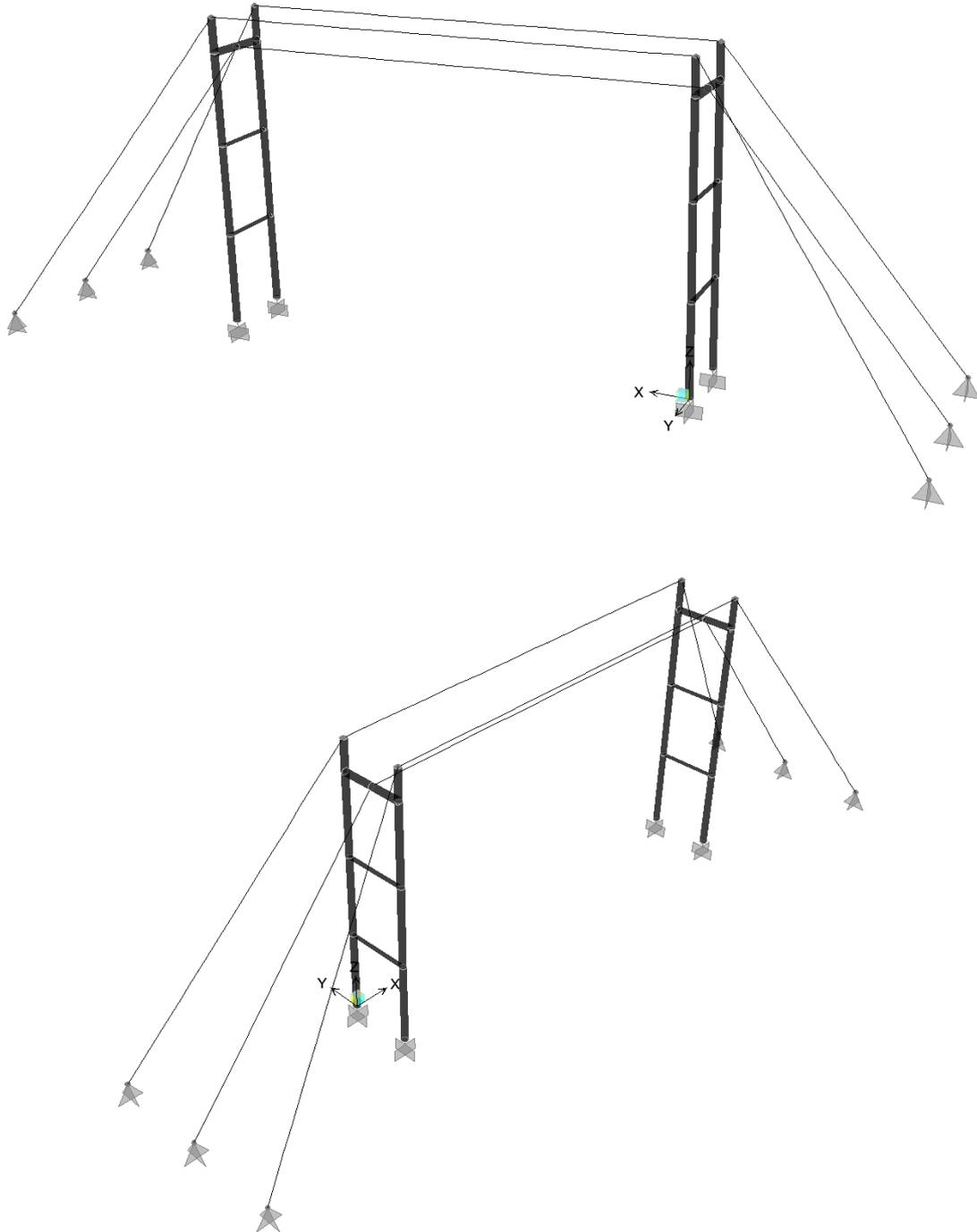
10. MODELLO DI CALCOLO

E' stato costruito un modello rappresentativo della struttura. In particolare i pilastri di quest'ultimo sono stati modellati con elementi tipo frame mentre i cavi con elementi tipo cable che reagiscono solo a trazione. Nel software sono state implementate le sezioni degli elementi alle quali sono state assegnate i rispettivi materiali nel rispetto delle specifiche indicazioni di normativa. Tutti gli elementi finiti sono stati opportunamente infittiti al fine di raggiungere una coerente schematizzazione. Si è quindi implementata un'analisi del secondo ordine in modo tale ricavare le tensioni di trazione sugli elementi cable.

Di seguito si riportano alcune immagini del modello di calcolo realizzato.

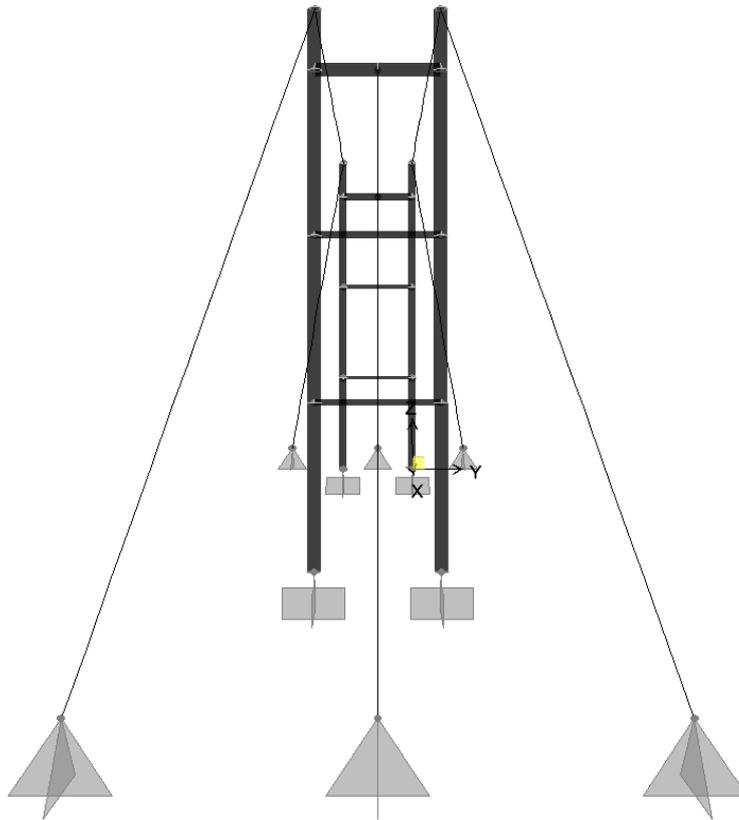


Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture





Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture





11. VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

I calcoli delle caratteristiche di sollecitazione e delle deformazioni sugli elementi della struttura oggetto della presente relazione di calcolo sono stati eseguiti manualmente e con l'ausilio del software SAP 2000® con criteri basati sugli usuali metodi teorici della Scienza delle Costruzioni nell'ipotesi di comportamento lineare elastico dei materiali.

La verifica delle sezioni è stata eseguita manualmente con elaboratore elettronico con criteri basati sugli usuali metodi teorici della Tecnica delle Costruzioni; tale verifica è stata eseguita secondo il metodo agli stati limite.

Il calcolo della struttura è stato eseguito considerando quest'ultima libera di oscillare sotto l'azione sismica e del vento, al fine di ottenere i valori di sollecitazione massimi e di verificare l'equilibrio globale della struttura stessa.

Di seguito si riportano i principali risultati ottenuti dall'analisi globale della struttura e le verifiche degli elementi strutturali più significativi.

Nella verifica dei singoli elementi strutturali si è tenuto conto dei principali criteri di progettazione definiti dalla "Gerarchia delle Resistenze" in maniera tale da garantire alla struttura la corretta duttilità definita in fase di progetto.

L'applicazione delle prescrizioni previste nel capitolo 7 del D.M. del 14 gennaio 2008 sia per quanto riguarda le verifiche degli elementi strutturali sia per quanto riguarda i dettagli costruttivi garantisce il soddisfacimento della Gerarchia delle Resistenze e di conseguenza l'esclusione di meccanismi fragili e quindi di cedimenti improvvisi della struttura.

La verifica è stata condotta per la condizione di carico più gravosa corrispondente ad una combinazione di inviluppo di carichi statici ed azione sismica.

Sotto l'azione combinata di carichi gravitazionali e forze sismiche, i pilastri risultano elementi strutturali soggetti ad una sollecitazione di pressoflessione deviata, i cavi sono elementi strutturali soggetti ad una sollecitazione di trazione.

Si presenta a seguire una verifica di resistenza eseguita sulla base dello stato di sollecitazione più gravoso agente sulla struttura costituito dai massimi valori di N , M_x , M_y , V_x , V_y individuati su elementi strutturali con uguali caratteristiche. La verifica risulta essere ampiamente cautelativa ed in favore di sicurezza.



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Viene di seguito rappresentato l'output del programma di calcolo SAP2000® che evidenzia lo stato di sollecitazione agente sugli elementi strutturali in oggetto. Tali sollecitazioni sono di seguito utilizzate per le verifiche di resistenza.

12. VERIFICA PILASTRI

Sotto l'azione combinata di carichi gravitazionali, delle forze sismiche e dell'azione del vento, i pilastri costituenti l'edificio risultano soggetti ad una sollecitazione tagliante ed una pressoflessione biassiale, come evidenziato dalle tabelle riepilogative sottostanti per ciascuna tipologia di pilastro.

Verranno di seguito riportate le verifiche delle sezioni più in crisi per ciascun tipo di pilastro.

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	N	N	N	N-m	N-m
27	0	Envelope SLU	Combination	Max	-262244.7	-21899.7	-50024.38	-50319.88	-22195.2
27	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	-262011.19	-22195.2	-50319.88	-25233.82	-11171.47
27	1	Envelope SLU	Combination	Max	-261777.68	-22490.7	-50615.38	8.254E-11	-8.15E-11
27	0	Envelope SLU	Combination	Min	-266368.52	-22922.28	-52371.36	-52548.66	-23099.58
27	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	-266135.01	-23099.58	-52548.66	-26318.66	-11594.11
27	1	Envelope SLU	Combination	Min	-265901.5	-23276.88	-52725.96	3.806E-11	-1.3E-10
29	0	Envelope SLU	Combination	Max	-206971.76	-19624.32	50423.69	50246.39	-19919.82
29	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	-206738.25	-19919.82	50246.39	25078.87	-10033.79
29	1	Envelope SLU	Combination	Max	-206504.74	-20215.32	50069.09	1.742E-11	1.564E-11
29	0	Envelope SLU	Combination	Min	-233204.76	-21557.05	46778.26	46482.76	-21734.35
29	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	-232971.25	-21734.35	46482.76	23167.5	-10911.5
29	1	Envelope SLU	Combination	Min	-232737.74	-21911.65	46187.26	1.032E-11	1.346E-11
31	0	Envelope SLU	Combination	Max	-259709.69	22533.07	-49461.02	-49756.52	22355.77
31	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	-259476.18	22355.77	-49756.52	-24952.14	11133.56
31	1	Envelope SLU	Combination	Max	-259242.68	22178.47	-50052.02	2.441E-11	6.694E-11
31	0	Envelope SLU	Combination	Min	-264847.52	21251.01	-52033.35	-52210.65	20955.51
31	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	-264614.01	20955.51	-52210.65	-26149.65	10403.88
31	1	Envelope SLU	Combination	Min	-264380.5	20660.01	-52387.95	1.561E-11	-8.59E-11
33	0	Envelope SLU	Combination	Max	-204436.75	21167.84	50085.67	49908.37	20990.54
33	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	-204203.25	20990.54	49908.37	24909.86	10450.95
33	1	Envelope SLU	Combination	Max	-203969.74	20813.24	49731.07	-6.57E-11	2.359E-10
33	0	Envelope SLU	Combination	Min	-231683.76	18975.64	46214.89	45919.39	18680.14



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

33	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	-231450.25	18680.14	45919.39	22885.82	9266.19
33	1	Envelope SLU	Combination	Min	-231216.74	18384.64	45623.89	-9.72E-11	2.021E-10
65	0	Envelope SLU	Combination	Max	-361376.02	-1753.34	6447.46	13972.77	-12849.47
65	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-360753.33	-2393.34	5807.46	5802.83	-10085.01
65	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-360130.64	-3033.34	5167.46	-568.84	-6467.22
65	0	Envelope SLU	Combination	Min	-384472.25	-3388.95	3680.28	8221.24	-16622.81
65	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-383849.56	-3772.95	3296.28	3570.2	-11848.21
65	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-383226.88	-4156.95	2912.28	-1513.79	-6561.6
66	0	Envelope SLU	Combination	Max	-368414.76	-3335.61	6677.98	7033.77	-6280.13
66	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-367792.07	-4123.61	5889.98	-1274.64	-349.72
66	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-367169.38	-4911.61	5101.98	-6487.37	6380.3
66	0	Envelope SLU	Combination	Min	-388090.41	-4338.32	4618.75	4568.49	-6449.35
66	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-387467.72	-4811.12	4145.95	-1344.87	-1307.31
66	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-386845.04	-5283.92	3673.15	-8672.84	4716.17
67	0	Envelope SLU	Combination	Max	-375129.3	-5024.39	-886.68	-894.13	6538.9
67	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-374506.61	-5812.39	-1674.68	2392.25	13989.54
67	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-373883.92	-6297.18	-2462.68	7461.09	22070.59
67	0	Envelope SLU	Combination	Min	-391514.05	-5351.58	-3092.43	-2046.19	4980.5
67	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-390891.36	-5824.38	-3565.23	813.45	12205.02
67	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-390268.67	-6600.39	-4038.03	3571.69	20480.21
68	0	Envelope SLU	Combination	Max	-348754.98	-2409.23	7169.43	14595.97	-14692.79
68	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-348132.29	-3049.23	6529.43	5463.4	-11053.82
68	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-347509.6	-3689.23	5889.43	-2028.94	-6561.51
68	0	Envelope SLU	Combination	Min	-376899.63	-3782.49	4489.85	8920	-17728.8
68	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-376276.94	-4166.49	4105.85	3189.53	-12429.49
68	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-375654.25	-4550.49	3721.85	-2815.84	-6618.17
69	0	Envelope SLU	Combination	Max	-338690.81	-3386.96	4378.91	5739.51	-6730.43
69	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-338068.13	-4174.96	3590.91	723.5	-589.73
69	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-337445.44	-4962.96	2802.91	-1018.08	6181.37
69	0	Envelope SLU	Combination	Min	-370256.05	-4369.12	2015.39	3095.48	-6748.6
69	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-369633.36	-4841.92	1542.59	426.3	-1707.32
69	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-369010.67	-5314.72	1069.79	-3836.25	4384.62
70	0	Envelope SLU	Combination	Max	-328950.85	-4850.18	8791.57	4839.54	6022.77
70	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-328328.16	-5638.18	8003.57	-5718.52	13334.05
70	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-327705.48	-6192.66	7215.57	-15220.06	21275.73
70	0	Envelope SLU	Combination	Min	-363806.98	-5247.06	7835.36	4413.43	4120.29
70	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-363184.3	-5719.86	7362.56	-6357.22	11112.53
70	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-362561.61	-6426.18	6889.76	-16503.31	19155.44
74	0	Envelope SLU	Combination	Max	-367035.94	7429.07	6418.52	13947.81	23138.27
74	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-366413.25	6789.07	5778.52	5816.45	13992.91
74	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-365790.56	6149.07	5138.52	-537.51	5701.72
74	0	Envelope SLU	Combination	Min	-387868.2	6794.39	3662.91	8206.26	22796.09
74	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-387245.51	6410.39	3278.91	3578.38	13659.51
74	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-386622.83	6026.39	2894.91	-1461.57	5034.08



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

75	0	Envelope SLU	Combination	Max	-374074.68	6451.34	6778.52	7092.83	5589.47
75	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-373451.99	5734.95	5990.52	-1319.64	-2372.34
75	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-372829.3	5262.15	5202.52	-6612.8	-9703.74
75	0	Envelope SLU	Combination	Min	-391486.36	6207.75	4679.07	4603.92	4847
75	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-390863.67	5663.34	4206.27	-1419.87	-3229.46
75	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-390240.99	4875.34	3733.47	-8881.89	-10255.25
76	0	Envelope SLU	Combination	Max	-380789.21	5329.82	-1303.4	-1134	-9862.34
76	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-380166.52	4857.02	-2091.4	2581.7	-16645.07
76	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-379543.83	4384.22	-2879.4	7983.92	-21719.89
76	0	Envelope SLU	Combination	Min	-394910	4988.12	-3342.46	-2190.11	-10519.58
76	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-394287.31	4200.12	-3815.26	1129.2	-16653.57
76	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-393664.62	3412.12	-4288.06	4443.06	-22814.4
77	0	Envelope SLU	Combination	Max	-354414.9	8084.96	7198.37	14620.93	24981.59
77	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-353792.21	7444.96	6558.37	5449.77	14628.32
77	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-353169.52	6804.96	5918.37	-2060.27	5758.29
77	0	Envelope SLU	Combination	Min	-380295.58	7187.92	4507.22	8934.98	23902.09
77	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-379672.89	6803.92	4123.22	3181.36	14574.19
77	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-379050.2	6419.92	3739.22	-2868.06	5128.38
78	0	Envelope SLU	Combination	Max	-344350.73	6502.69	4278.37	5680.46	5870.54
78	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-343728.04	5765.76	3490.37	768.5	-2132.34
78	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-343105.35	5292.96	2702.37	-892.65	-9504.82
78	0	Envelope SLU	Combination	Min	-373652	6238.56	1955.06	3060.04	5315.46
78	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-373029.31	5714.69	1482.26	501.3	-2829.45
78	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-372406.62	4926.69	1009.46	-3627.19	-9923.7
79	0	Envelope SLU	Combination	Max	-334610.77	5225.29	9208.29	5079.41	-9346.22
79	1.33333	Envelope SLU	Combination	Max	-333988.08	4752.49	8420.29	-5907.97	-15552.58
79	2.66667	Envelope SLU	Combination	Max	-333365.39	4279.69	7632.29	-15742.89	-20395.12
79	0	Envelope SLU	Combination	Min	-367202.93	4813.91	8085.39	4557.36	-9659.37
79	1.33333	Envelope SLU	Combination	Min	-366580.25	4025.91	7612.59	-6672.97	-15998.08
79	2.66667	Envelope SLU	Combination	Min	-365957.56	3237.91	7139.79	-17374.68	-22019.54

-394'910.00	-23'276.88	-52'725.96	-52'548.66	-23'099.58
-203'969.74	22'533.07	50'423.69	50'246.39	24'981.59

VERIFICA COLONNA VERTICALE

Geometria		
H	10.00 m	lunghezza d'inflessione
d	219.10 mm	diametro esterno nominale
s	10.00 mm	spessore nominale
di	199.10 mm	diametro interno nominale
Peso	0.52 KN/m	



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture**

A	6'569.07	mm ²	area della sezione
A_v	8'220.00	mm ²	area di taglio in direzione dell'anima
W	328'474.61	mm ³	modulo resistente elastico rispetto all'asse forte
W_{pl}	437'561.43	mm ³	modulo resistente plastico rispetto all'asse forte
J	35'984'393.59	mm ⁴	momento d'inerzia rispetto all'asse ortogonale all'anima
i	74.01	mm	raggio giratore d'inerzia
E	210'000.00	N/mm ²	modulo elastico

CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

Valore di snervamento dell'acciaio	f_y	355	[MPa]
Coefficiente e	e	0.81	[-]
Classificazione			
Diametro	d	219.10	[mm]
Spessore	t	10.00	[mm]
Rapporto tra diametro e spessore	d/t	21.91	[-]
<i>Classificazione della sezione</i>		CLASSE 1	

<p>Tubular sections</p>						
Class	Section in bending and/or compression					
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$					
	NOTE For $d/t > 90\epsilon^2$ see EN 1993-1-6.					
$\epsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ϵ^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Verifica di stabilità a compressione			
$N_{d, max}$	394'910.00	N	compressione massima agente sulla sezione
β	0.70		coeff. delle effettive condizioni di vincolo
$h_0 = H \cdot \beta$	7.00	m	lunghezza libera d'inflessione
$N_{cr} = \pi^2 \cdot J \cdot E / h_0^2$	1'522'078.84	N	carico critico euleriano
$\lambda = h_0 / i$	94.58	< 200	snellezza
$\lambda_{cr} = \pi \sqrt{E / f_{yk}}$	76.41		snellezza critica
$\underline{\lambda} = \lambda / \lambda_{cr} = \sqrt{A \cdot f_{yk} / N_{cr}}$	1.24		snellezza adimensionale
α	0.21		fattore di imperfezione
ϕ	1.38		NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
χ	0.51	≤ 1	NTC 2008 §4.2.4.1.3.1



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

$\omega=1/\chi$	1.97	coeff. Moltiplicativo dei carichi
$N_{b,Rd}=\chi \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{M1}$	1'125'196.39 N	resistenza all'instabilità dell'asta compressa
$N_d / N_{b,Rd}$	0.35	
Verifica		
$N_d < N_{b,Rd}$	VERO	

Verifica a taglio della sezione SLU		
T	57'635.41 N	taglio agente sulla sezione in direzione dell'anima
f_{yk}	355.00 N/mm ²	tensione di snervamento acciaio S355 (ex Fe 510)
γ_{M0}	1.05	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
A_v	8'220.00 mm ²	area resistente al taglio della sezione in direzione Y (piano dell'anima)
$V_{c,Rd}$	1'604'538.88 N	resistenza di calcolo a taglio in direzione Y
Verifica		
$T / V_{c,Rd}$	0.04 < 0,5	VERO

Verifica a presso flessione		
$N_{d,max}$	394'910.00 N	compressione massima agente sulla sezione
M	58'184.55 N·m	momento agente sulla sezione attorno all'asse forte
T	57'635.41 N	taglio agente sulla sezione in direzione Y
A	6'569.07 mm ²	area della sezione del profilo
J	35'984'393.59 mm ⁴	momento d'inerzia rispetto all'asse baricentrico X
A_v	8'220.00 mm ²	area di taglio
W	328'474.61 mm ³	modulo resistente elastico massimo rispetto all'asse X
W_{pl}	437'561.43 mm ³	modulo resistente plastico X della sezione
f_{yk}	355.00 N/mm ²	tensione di snervamento dell'acciaio
γ_{M0}	1.05	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
σ_{max}	60.29 N/mm ²	
τ	7.01 N/mm ²	
σ_{id}	61.50 N/mm ²	
f_{yk} / γ_{M0}	338.10 N/mm ²	
Verifica		
$\sigma_{id} < f_{yk} / \gamma_{M0}$	VERO	

Verifica di instabilità a presso flessione		
$N_{d,max}$	394'910.00 N	compressione massima agente sulla sezione
M	58'184.55 N·m	momento agente sulla sezione
γ_{M1}	1.05	coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
χ	0.51	NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
f_{yk}	355.00 N/mm ²	tensione di snervamento acciaio S355 (ex Fe 510)
W_{pl}	437'561.43 mm ³	modulo resistente plastico
N_{cr}	1'522'078.84 N	carico critico euleriano

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1 \quad [C4.2.32]$$



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Verifica se < 1
0.882 VERO



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

13. VERIFICA ELEMENTI TRASVERSALI DI COLLEGAMENTO

– Traversi d=219.1, sp=10.0

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	N	N	N	N-m	N-m
34	0	Envelope SLU	Combination	Max	48235.19	-125817.41	27631.95	2757.48	-49159.99
34	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	48235.19	-125488.74	27631.95	-10108.33	13666.54
34	1	Envelope SLU	Combination	Max	48235.19	-125160.07	27631.95	-22974.14	81935.89
34	0	Envelope SLU	Combination	Min	47059.61	-139641.23	25731.61	2403.13	-57376.68
34	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	47059.61	-139312.57	25731.61	-11412.85	12361.77
34	1	Envelope SLU	Combination	Min	47059.61	-138983.9	25731.61	-25228.83	76328.75
35	0	Envelope SLU	Combination	Max	43407.95	151166.03	-23222.41	-22974.14	81935.89
35	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	43407.95	151494.69	-23222.41	-11362.93	6270.71
35	1	Envelope SLU	Combination	Max	43407.95	151823.36	-23222.41	897.61	-69463.54
35	0	Envelope SLU	Combination	Min	39014.2	145463.62	-26126.43	-25228.83	76328.75
35	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	39014.2	145792.29	-26126.43	-12165.61	3514.77
35	1	Envelope SLU	Combination	Min	39014.2	146120.95	-26126.43	248.28	-69558.81
36	0	Envelope SLU	Combination	Max	48100.12	-122519.12	-28411.82	-2501.87	-48006.7
36	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	48100.12	-122190.46	-28411.82	12118.17	13170.7
36	1	Envelope SLU	Combination	Max	48100.12	-121861.79	-28411.82	26738.21	80648.9
36	0	Envelope SLU	Combination	Min	46834.49	-137662.26	-29240.08	-2922.04	-56684.7
36	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	46834.49	-137333.6	-29240.08	11283.87	12064.27
36	1	Envelope SLU	Combination	Min	46834.49	-137004.93	-29240.08	25489.78	74183.76
37	0	Envelope SLU	Combination	Max	43272.88	149187.06	27734.56	26738.21	80648.9
37	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	43272.88	149515.72	27734.56	12870.93	5973.2
37	1	Envelope SLU	Combination	Max	43272.88	149844.39	27734.56	-412.84	-68310.24
37	0	Envelope SLU	Combination	Min	38789.09	142165.34	25902.62	25489.78	74183.76
37	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	38789.09	142494.01	25902.62	12538.47	3018.93
37	1	Envelope SLU	Combination	Min	38789.09	142822.67	25902.62	-996.35	-68866.83

38'789.09	-139'641.23	-29'240.08	-25'228.83	-69'558.81
48'235.19	151'823.36	27'734.56	26'738.21	81'935.89



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Geometria			
L	2.00	m	lunghezza d'inflessione
d	219.10	mm	diametro esterno nominale
s	10.00	mm	spessore nominale
di	199.10	mm	diametro interno nominale
Peso	0.52	KN/m	
A	6'569.07	mm ²	area della sezione
A_v	8'220.00	mm ²	area di taglio in direzione dell'anima
W	328'474.61	mm ³	modulo resistente elastico rispetto all'asse forte
W_{pl}	437'561.43	mm ³	modulo resistente plastico rispetto all'asse forte
J	35'984'393.59	mm ⁴	momento d'inerzia rispetto all'asse ortogonale all'anima
i	74.01	mm	raggio giratore d'inerzia
E	210'000.00	N/mm ²	modulo elastico

Verifica di stabilità a compressione			
N_{d,max}	48'235.19	N	compressione massima agente sulla sezione
β	0.70		coeff. delle effettive condizioni di vincolo
l₀ = L * β	1.40	m	lunghezza libera d'inflessione
N_{cr} = π² · J · E / h₀²	38'051'971.00	N	carico critico euleriano
λ = l₀ / i	18.92	< 200	snellezza
λ_{cr} = π · V (E / f_{yk})	76.41		snellezza critica
λ̄ = λ / λ_{cr} = V (A * f_{yk} / N_{cr})	0.25		snellezza adimensionale
α	0.21		fattore di imperfezione
φ	0.54		NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
χ	0.99	≤ 1	NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
ω = 1 / χ	1.01		coeff. Moltiplicativo dei carichi
N_{b,Rd} = χ · A · f_{yk} / γ_{M1}	2'197'606.70	N	resistenza all'instabilità dell'asta compressa
N_d / N_{b,Rd}	0.02		
Verifica			
N_d < N_{b,Rd}	VERO		

Verifica a taglio della sezione SLU			
T	154'613.44	N	taglio agente sulla sezione in direzione dell'anima
f_{yk}	355.00	N/mm ²	tensione di snervamento acciaio S355 (ex Fe 510)
γ_{M0}	1.05		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
A_v	8'220.00	mm ²	area resistente al taglio della sezione in direzione Y (piano dell'anima)
V_{c,Rd}	1'604'538.88	N	resistenza di calcolo a taglio in direzione Y
Verifica			
T / V_{c,Rd}	0.10	< 0,5	VERO

Verifica a presso flessione			
N_{d,max}	48'235.19	N	compressione massima agente sulla sezione
M	86'188.29	N·m	momento agente sulla sezione attorno all'asse forte



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

T	154'613.44	N	taglio agente sulla sezione in direzione Y
A	6'569.07	mm ²	area della sezione del profilo
J	35'984'393.59	mm ⁴	momento d'inerzia rispetto all'asse baricentrico X
A _v	8'220.00	mm ²	area di taglio
W	328'474.61	mm ³	modulo resistente elastico massimo rispetto all'asse X
W _{pl}	437'561.43	mm ³	modulo resistente plastico X della sezione
f _{yk}	355.00	N/mm ²	tensione di snervamento dell'acciaio
γ _{M0}	1.05		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
σ _{max}	7.61	N/mm ²	
τ	18.81	N/mm ²	
σ _{id}	33.45	N/mm ²	
f _{yk} /γ _{M0}	338.10	N/mm ²	
Verifica			
σ _{id} < f _{yk} /γ _{M0}	VERO		

Verifica di instabilità a pressoflessione			
N _{d,max}	48'235.19	N	compressione massima agente sulla sezione
M	86'188.29	N·m	momento agente sulla sezione
γ _{M1}	1.05		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
χ	0.99		NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
f _{yk}	355.00	N/mm ²	tensione di snervamento acciaio S355 (ex Fe 510)
W _{pl}	437'561.43	mm ³	modulo resistente plastico
N _{cr}	38'051'971.00	N	carico critico euleriano
$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1 \quad [C4.2.32]$			
Verifica se < 1			
0.605 VERO			



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
 PROGETTO ESECUTIVO
 INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
 Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture**

– Traversi d=144.3, sp=8.0

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	M2	M3
Text	m	Text	Text	Text	N	N	N	N-m	N-m
72	0	Envelope SLU	Combination	Max	6864.15	6321.16	56.93	716.88	6284.93
72	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	6864.15	6454.83	56.93	699.8	3090.93
72	1	Envelope SLU	Combination	Max	6864.15	6588.49	56.93	682.73	-169.9
72	1.5	Envelope SLU	Combination	Max	6864.15	6722.16	56.93	665.65	-2204.55
72	2	Envelope SLU	Combination	Max	6864.15	6855.83	56.93	648.57	-4281.35
72	0	Envelope SLU	Combination	Min	6157.57	3685.76	34.16	706.49	3624.84
72	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	6157.57	3819.43	34.16	678.03	1748.54
72	1	Envelope SLU	Combination	Min	6157.57	3953.1	34.16	649.56	-194.59
72	1.5	Envelope SLU	Combination	Min	6157.57	4086.76	34.16	621.1	-3497.56
72	2	Envelope SLU	Combination	Min	6157.57	4220.43	34.16	592.63	-6892.06
73	0	Envelope SLU	Combination	Max	-1561.69	6896.9	238.5	513.09	7125.79
73	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	-1561.69	7030.56	238.5	393.84	3643.93
73	1	Envelope SLU	Combination	Max	-1561.69	7164.23	238.5	288.61	100.71
73	1.5	Envelope SLU	Combination	Max	-1561.69	7297.9	238.5	217.06	-2081.98
73	2	Envelope SLU	Combination	Max	-1561.69	7431.56	238.5	145.51	-4331.5
73	0	Envelope SLU	Combination	Min	-1741.54	4031.2	143.1	431.7	4265.58
73	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	-1741.54	4164.87	143.1	360.16	2216.56
73	1	Envelope SLU	Combination	Min	-1741.54	4298.54	143.1	274.59	95.23
73	1.5	Envelope SLU	Combination	Min	-1741.54	4432.21	143.1	155.34	-3520.3
73	2	Envelope SLU	Combination	Min	-1741.54	4565.87	143.1	36.09	-7202.67
80	0	Envelope SLU	Combination	Max	7086.93	6321.21	-34.16	-642.68	6272.08
80	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	7086.93	6454.87	-34.16	-614.22	3078.06
80	1	Envelope SLU	Combination	Max	7086.93	6588.54	-34.16	-585.75	-182.8
80	1.5	Envelope SLU	Combination	Max	7086.93	6722.21	-34.16	-557.29	-2212.31
80	2	Envelope SLU	Combination	Max	7086.93	6855.87	-34.16	-528.82	-4289.12
80	0	Envelope SLU	Combination	Min	6528.88	3685.79	-56.93	-678.6	3617.13
80	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	6528.88	3819.46	-56.93	-661.52	1740.82
80	1	Envelope SLU	Combination	Min	6528.88	3953.12	-56.93	-644.44	-202.33
80	1.5	Envelope SLU	Combination	Min	6528.88	4086.79	-56.93	-627.36	-3510.48
80	2	Envelope SLU	Combination	Min	6528.88	4220.46	-56.93	-610.28	-6905
81	0	Envelope SLU	Combination	Max	-1655.63	6896.94	-143.1	-415.52	7128.7
81	0.5	Envelope SLU	Combination	Max	-1655.63	7030.61	-143.1	-343.97	3646.81
81	1	Envelope SLU	Combination	Max	-1655.63	7164.27	-143.1	-247.61	102.42
81	1.5	Envelope SLU	Combination	Max	-1655.63	7297.94	-143.1	-128.36	-2080.28
81	2	Envelope SLU	Combination	Max	-1655.63	7431.61	-143.1	-9.11	-4329.81
81	0	Envelope SLU	Combination	Min	-1797.9	4031.23	-238.5	-486.12	4267.32
81	0.5	Envelope SLU	Combination	Min	-1797.9	4164.9	-238.5	-366.86	2218.29
81	1	Envelope SLU	Combination	Min	-1797.9	4298.56	-238.5	-272.42	98.09
81	1.5	Envelope SLU	Combination	Min	-1797.9	4432.23	-238.5	-200.87	-3517.46
81	2	Envelope SLU	Combination	Min	-1797.9	4565.9	-238.5	-129.32	-7199.85

-1'797.90	3'685.76	-238.50	-678.60	-7'202.67
7'086.93	7'431.61	238.50	716.88	7'128.70

Geometria



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
 PROGETTO ESECUTIVO
 INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
 Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture**

L	2.00	m	lunghezza d'inflessione
d	144.30	mm	diametro esterno nominale
s	8.00	mm	spessore nominale
di	128.30	mm	diametro interno nominale
Peso	0.27	KN/m	
A	3'425.59	mm ²	area della sezione
A_v	2'180.80	mm ²	area di taglio in direzione dell'anima
W	110'635.56	mm ³	modulo resistente elastico rispetto all'asse forte
W_{pl}	148'792.19	mm ³	modulo resistente plastico rispetto all'asse forte
J	15'964'710.73	mm ⁴	momento d'inerzia rispetto all'asse ortogonale all'anima
i	68.27	mm	raggio giratore d'inerzia
E	210'000.00	N/mm ²	modulo elastico

Verifica di stabilità a compressione			
N_{d,max}	7'086.93	N	compressione massima agente sulla sezione
β	0.70		coeff. delle effettive condizioni di vincolo
l₀ = L * β	1.40	m	lunghezza libera d'inflessione
N_{cr} = π² · J · E / h₀²	16'882'004.92	N	carico critico euleriano
λ = l₀ / i	20.51	< 200	snellezza
λ_{cr} = π √(E / f_{yk})	76.41		snellezza critica
λ̄ = λ / λ_{cr} = √(A * f_{yk} / N_{cr})	0.27		snellezza adimensionale
α	0.21		fattore di imperfezione
φ	0.54		NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
χ	0.98	≤ 1	NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
ω = 1 / χ	1.02		coeff. Moltiplicativo dei carichi
N_{b,Rd} = χ · A · f_{yk} / γ_{M1}	1'140'544.99	N	resistenza all'instabilità dell'asta compressa
N_d / N_{b,Rd}	0.01		
Verifica			
N_d < N_{b,Rd}	VERO		

Verifica a taglio della sezione SLU			
T	7'435.44	N	taglio agente sulla sezione in direzione dell'anima
f_{yk}	355.00	N/mm ²	tensione di snervamento acciaio S355 (ex Fe 510)
γ_{M0}	1.05		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
A_v	2'180.80	mm ²	area resistente al taglio della sezione in direzione Y (piano dell'anima)
V_{c,Rd}	425'690.85	N	resistenza di calcolo a taglio in direzione Y
Verifica			
T / V_{c,Rd}	0.02	< 0,5	VERO

Verifica a presso flessione			
N_{d,max}	7'086.93	N	compressione massima agente sulla sezione
M	7'164.65	N·m	momento agente sulla sezione attorno all'asse forte
T	7'435.44	N	taglio agente sulla sezione in direzione Y
A	3'425.59	mm ²	area della sezione del profilo
J	15'964'710.73	mm ⁴	momento d'inerzia rispetto all'asse baricentrico X



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
 PROGETTO ESECUTIVO
 INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
 Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture**

A_v	2'180.80	mm ²	area di taglio
W	110'635.56	mm ³	modulo resistente elastico massimo rispetto all'asse X
W_{pl}	148'792.19	mm ³	modulo resistente plastico X della sezione
f_{yk}	355.00	N/mm ²	tensione di snervamento dell'acciaio
γ_{M0}	1.05		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
σ_{max}	2.13	N/mm ²	
τ	3.41	N/mm ²	
σ_{id}	6.28	N/mm ²	
f_{yk}/γ_{M0}	338.10	N/mm ²	
Verifica			
$\sigma_{id} < f_{yk}/\gamma_{M0}$	VERO		

Verifica di instabilità a pressoflessione			
$N_{d, max}$	7'086.93	N	compressione massima agente sulla sezione
M	7'164.65	N·m	momento agente sulla sezione
γ_{M1}	1.05		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
χ	0.98		NTC 2008 §4.2.4.1.3.1
f_{yk}	355.00	N/mm ²	tensione di snervamento acciaio S355 (ex Fe 510)
W_{pl}	148'792.19	mm ³	modulo resistente plastico
N_{cr}	16'882'004.92	N	carico critico euleriano
$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{yec,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{zeq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1 \quad [C4.2.32]$			
Verifica se < 1			
0.149 VERO			



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

14. VERIFICA PIASTRA DI FONDAZIONE

Verifica tirafondi $\phi 20$ della piastra di ancoraggio			
$N_{comp.}$	434'401.00	N	compressione massima trasmessa alla piastra moltiplicata per $\gamma_{Rd} = 1.1$
M_x	57'803'526.00	Nmm	momento attorno all'asse x, trasmesso alla piastra moltiplicato per c $\gamma_{Rd} = 1.1$
M_y	27'479'749.00	Nmm	momento attorno all'asse y, trasmesso alla piastra moltiplicato per c $\gamma_{Rd} = 1.1$
V_y	57'998.56	N	taglio lungo l'asse y trasmesso alla piastra moltiplicato per c $\gamma_{Rd} = 1.1$
V_x	25'604.57	N	taglio lungo l'asse x trasmesso alla piastra moltiplicato per c $\gamma_{Rd} = 1.1$
a	400.00	mm	lato piastra (direzione x)
b	400.00	mm	lato piastra (direzione y)
s	30.00	mm	Spessore piastra
e_1	40.00	mm	Distanza centro tirafondi dal bordo della piastra in direzione x
e_2	40.00	mm	Distanza centro tirafondi dal bordo della piastra in direzione y
$X_{Gpi,Gpil}$	0.00	mm	Distanza max del baricentro della piastra dal baricentro della trave
$n^{\circ}_{TOT. tirafondi}$	12		Numero totale di tirafondi per ciascuna piastra
$n^{\circ}_{tirafondi a}$	4		Numero di tirafondi lato a (direzione x)
$n^{\circ}_{tirafondi b}$	4		Numero di tirafondi lato b (direzione y)
P_1	106.67	mm	Interasse tirafondi in direzione x
P_2	106.67	mm	Interasse tirafondi in direzione y
$\phi_{tirafondi}$	20	mm	diametro tirafondi
$A_{tirafondi}$	314	mm ²	Area della sezione di un tirafondo
$A_{res, tirafondi}$	245	mm ²	Area resistente di un tirafondo
d_0	21.00	mm	diametro foro
J_x	50'265'482.46	mm ⁴	momento d'inerzia della sezione formata dai tirafondi
J_y	50'265'482.46	mm ⁴	momento d'inerzia della sezione formata dai tirafondi
W_x	314'159.27	mm ³	modulo resistente della sezione formata dai tirafondi
W_y	314'159.27	mm ³	modulo resistente della sezione formata dai tirafondi
$\sigma_{a, max}$	418.96	N/mm ²	tensione max agente sui tirafondi
$f_{t,b}$	800.00	N/mm ²	Tensione di rottura per un bullone di classe 8.8
$f_{v,b}$	649.00	N/mm ²	Tensione di snervamento per un bullone di classe 8.8
γ_{M2}	1.25		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
$F_{t,Ed}$	102'827.64	N	Trazione agente su un bullone
$F_{v,Ed}$	5'283.25	N	Taglio agente su un bullone
$F_{t,Rd}=0.9 \cdot f_{t,b} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}$	141'371.67	N/mm ²	Resistenza di calcolo a trazione per un bullone di classe 8.8
$F_{v,Rd}=0.6 \cdot f_{v,b} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}$	94'247.78	N/mm ²	Resistenza di calcolo a taglio per un bullone di classe 8.8
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1,4 F_{t,Rd}$	0.58		
Verifica trazione e taglio			
$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / 1,4 F_{t,Rd} \leq 1$	VERO		for. 4.2.65; §4.2.8; N.T.C. 2008
$F_{t,Ed} / F_{t,Rd} \leq 1$	VERO		
$f_{t,k}$	510.00	N/mm ²	tensione di rottura dell'acciaio della piastra
α	0.63		for. 4.2.61; §4.2.8; N.T.C. 2008
K	2.50		for. 4.2.61; §4.2.8; N.T.C. 2008
$F_{b,Rd}$	388'571.43	N/mm ²	Resistenza di calcolo a rifollamento



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

Verifica a rifollamento		
$F_{v,Ed} < F_{b,Rd}$	VERO	for. 4.2.61; §4.2.8; N.T.C. 2008
$d_{rosetta}$	30.00	mm diametro rosetta
$d_{testa\ bullone}$	30.00	mm diametro medio testa bullone
$B_{b,Rd}$	692'155.69	Resistenza di calcolo a punzonamento
Verifica a punzonamento		
$F_{t,Ed} < B_{b,Rd}$	VERO	

Verifica sezione di contatto piastra-soletta in c.a.			
$N_{comp.}$	434'401.00	N	compressione massima trasmessa alla piastra moltiplicata per $\gamma_{Rd} = 1.1$
M_x	57'803'526.00	Nmm	momento attorno all'asse x, trasmesso alla piastra moltiplicato per c $\gamma_{Rd} = 1.1$
V_y	57'998.56	N	taglio lungo l'asse y trasmesso alla piastra moltiplicato per c $\gamma_{Rd} = 1.1$
a	400.00	mm	lato piastra (direzione x)
b	400.00	mm	lato piastra (direzione y)
s	30.00	mm	Spessore piastra
e_2	40.00	mm	Distanza centro tirafondi dal bordo della piastra
A_f	981.75	mm ²	armatura tesa
c	133.06	mm	eccentricità carichi
$U=(c-b/2)$	-66.94	mm	
$h=(b-e_2)$	360.00	mm	altezza utile della sezione in c.a.
Y	274.40	mm	Posizione asse neutro dal bordo a compressione massima
S_n	17'250'384.23	mm ³	momento statico della sezione in ca rispetto all'asse neutro
A_{id}	189'452.43	mm ²	area ideale di cls della sezione non parzializzata
Y_G	200.00	mm	posizione del baricentro della sezione non parzializzata $Y > b$
J_{id}	2'887'315'570.19	mm ⁴	momento d'inerzia rispetto al baricentro della sez. non parzializzata
$\sigma_{c,max}$	6.91	N/mm ²	tensione max cls
$f_{c,k}$	24.90	N/mm ²	resistenza caratteristica cilindrica del cls
$f_{c,d}$	14.11	N/mm ²	
Verifica cls			
$\sigma_{c,max} < f_{c,d}$	VERO		
σ_a	32.33	N/mm ²	tensione sui tirafondi (trazione > 0, compressione < 0)
$f_{y,b}$	649.00	N/mm ²	tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio dei tirafondi classe 8.8
$f_{y,d} = f_{y,b} / \gamma_{M2}$	519.20	N/mm ²	
Verifica barre tirafondi			
$\sigma_a < f_{y,d}$	VERO		

Verifica della piastra di base (schema a mensola) con acciaio Fe510			
f_{yk}	355	N/mm ²	tensione di snervamento dell'acciaio Fe510
γ_{M0}	1.05		coeff. Tab.4.2.V N.T.C. 2008
D	219.10	mm	Diametro esterno sezione pilastro
$L_y, mensola$	90.45	mm	lunghezza del tratto di piastra che lavora a mensola
R_T	208'799.06	N	taglio all'incastro della mensola



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

R_M	10'064'087.63	Nmm	momento all'incastro della mensola
σ	167.73	N/mm ²	
τ	26.10	N/mm ²	
σ_{id}	173.72	N/mm ²	
f_{yk}/γ_{M0}	338.10	N/mm ²	
Verifica			
$\sigma_{id} < f_{yk}/\gamma_{M0}$	VERO		Non sono necessarie nervature d'irrigidimento



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
COMB1_SLU_vento	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1.3
			NonLin Static	Neve	0.75
			NonLin Static	Vento X	1.5
			NonLin Static	Vento Y	1.5
			NonLin Static	Vento Z	1.5
COMB2_SLU_neve	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1.3
			NonLin Static	Neve	1.5
			NonLin Static	Vento X	0.9
			NonLin Static	Vento Y	0.9
			NonLin Static	Vento Z	0.9
Envelope SLU	Envelope	No	Response Combo	COMB1_SLU_vento	1
			Response Combo	COMB2_SLU_neve	1
COMB3_SLE_vento	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1
			NonLin Static	Neve	0.5
			NonLin Static	Vento X	1
			NonLin Static	Vento Y	1
			NonLin Static	Vento Z	1
COMB4_SLE_neve	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1
			NonLin Static	Neve	1
			NonLin Static	Vento X	0.6
			NonLin Static	Vento Y	0.6
			NonLin Static	Vento Z	0.6
Envelope SLE	Envelope	No	Response Combo	COMB3_SLE_vento	1
			Response Combo	COMB4_SLE_neve	1

La tensione caratteristica all'1% di deformazione totale di un trefolo è pari a $f_{p(1)k} = 1670 \text{ N/mm}^2$.

Utilizzando trefoli da 0.06" di area pari a 1.524 cm^2 , occorreranno cavi formati da due trefoli ciascuno:

$$2x (152.4 \times f_{p(1)k} / \gamma_s) = 2x 152.4 \times 1670 / 1.15 = 442622.6 \text{ N} = 44.26 \text{ t} > 34.65 \text{ t}$$

I tre cavi di ancoraggio da ciascun lato del ponte, inclinati di circa 57° rispetto all'orizzontale, richiederanno una zavorra di massa tale da bilanciare il loro tiro verticale massimo in combinazione SLU, pari a: $(28.36 + 34.65 + 32.14) \cdot \sin(57^\circ) = 79.80 \text{ t}$.



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
PROGETTO ESECUTIVO
INTERVENTI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO ED AMBIENTALE
Bat Bridge 1 - Relazione tecnica e di calcolo delle strutture

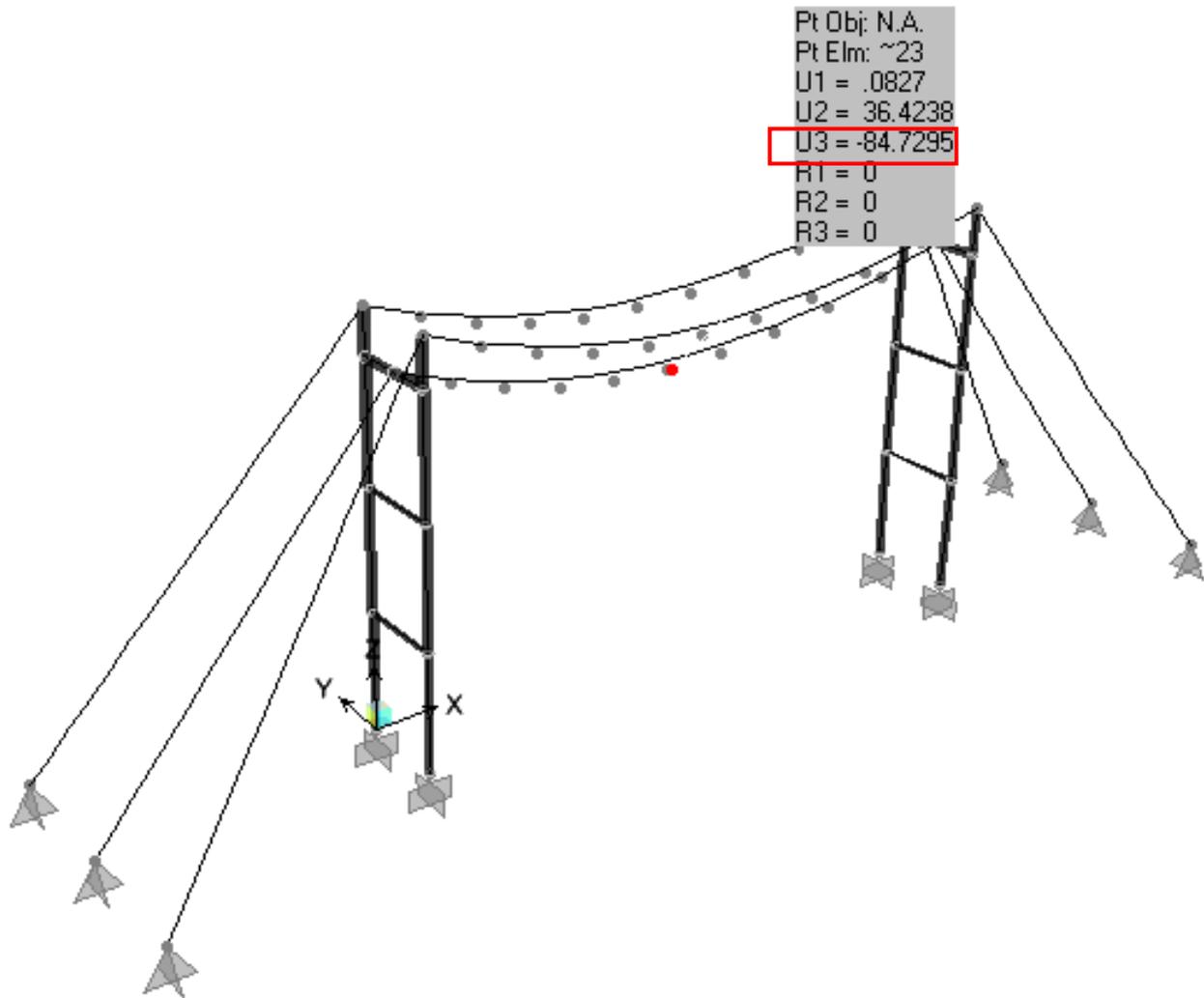
La zavorra in cls, di dimensioni $8 \times 2 \times 2 = 32 \text{m}^3$, ha un peso pari a $2.5 \times 32 = 80 \text{t}$ sufficiente a sopportare il tiro verticale agente.



16. VALUTAZIONE FRECCIA MASSIMA

Si riporta di seguito la freccia massima risultante in campata in combinazione caratteristica-rara dei carichi:

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
COMB1_SLU_vento	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1.3
			NonLin Static	Neve	0.75
			NonLin Static	Vento X	1.5
			NonLin Static	Vento Y	1.5
			NonLin Static	Vento Z	1.5
COMB2_SLU_neve	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1.3
			NonLin Static	Neve	1.5
			NonLin Static	Vento X	0.9
			NonLin Static	Vento Y	0.9
			NonLin Static	Vento Z	0.9
Envelope SLU	Envelope	No	Response Combo	COMB1_SLU_vento	1
			Response Combo	COMB2_SLU_neve	1
COMB3_SLE_vento	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1
			NonLin Static	Neve	0.5
			NonLin Static	Vento X	1
			NonLin Static	Vento Y	1
			NonLin Static	Vento Z	1
COMB4_SLE_neve	Linear Add	No	NonLin Static	G1	1
			NonLin Static	Neve	1
			NonLin Static	Vento X	0.6
			NonLin Static	Vento Y	0.6
			NonLin Static	Vento Z	0.6
Envelope SLE	Envelope	No	Response Combo	COMB3_SLE_vento	1
			Response Combo	COMB4_SLE_neve	1



La freccia massima teorica risultante, pari a 84.73 cm, consente un'altezza netta di passaggio pari a 6.0 m