

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

**NODO DI TORINO
COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA – TORINO
PORTA NUOVA**

OPERE CIVILI - PRESIDI ANTIRUMORE

RELAZIONE DI CALCOLO - BARRIERE ANTIRUMORE

SCALA:



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

NT0P 00 D 26 CL BA0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore	Data
A	Emissione Esecutiva	V. PEISINO	Apr. 2019	V.A. MANITTA <i>[Signature]</i>	Mag. 2019	G. DE MICHELE <i>[Signature]</i>	Mag. 2019	ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD Dott. Ing. Francesco Saggi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 23172 Sez.	

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA E RIFERIMENTI	5
2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.2 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO	5
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
3.1 ACCIAIO PER ARMATURE LENTE	6
3.2 ACCIAIO PER PROFILATI METALLICI (MONTANTI DELLE BARRIERE)	6
3.3 ACCIAIO PER ANCORAGGI E BULLONI	6
3.4 CALCESTRUZZO	6
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA	8
4.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA	8
4.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	8
5. COMBINAZIONI DI CARICO	10
5.1 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - SLU	10
5.2 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE	10
6. CRITERI DI VERIFICA	11
6.1 VERIFICHE STRUTTURALI	11
1.1.1 - Verifiche SLU	11
1.1.2 - Verifiche SLE	11
7. ANALISI DEI CARICHI	12
7.1 PESO PROPRIO DELLA BARRIERA	12
7.2 PRESSIONE CINETICA DEL VENTO	12

7.3	PRESSIONE DINAMICA VEICOLARE.....	18
7.4	PRESSIONE DINAMICA FERROVIARIA.....	18
7.5	AZIONE SISMICA	18
8.	ANALISI DI CALCOLO.....	20
8.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	20
8.1	MODELLO DI CALCOLO	20
8.1	RISULTATI DELLE ANALISI	22
8.1	VERIFICA DELLA BULLONATURA	24

2. NORMATIVA E RIFERIMENTI

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.M. 17.01.2018 – “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l’applicazione delle “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- RFI – Manuale di progettazione delle opere civili – Documento n° RFI-DTC-SI-PS-MA-IFS-001-B del 22 Dicembre 2017
- CNR DT 207/2008: “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”.

2.2 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

- NT0P 00 D26P9 BA0000001 A – Planimetria di localizzazione degli interventi
- NT0P 00 D26BZ BA0000001 A – Tipologico delle barriere antirumore
- NT0P 00 D26BB BA0000001÷2 A – Carpenteria e sezioni – Barriere antirumore – Tav. 1÷2

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

3.1 ACCIAIO PER ARMATURE LENTE

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
allungamento caratteristico	$\geq 7.5 \%$
rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:	$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

3.2 ACCIAIO PER PROFILATI METALLICI (MONTANTI DELLE BARRIERE)

Acciaio per profilati metallici S355 laminato con caratteristiche meccaniche:

tensione caratteristica di rottura	$f_{yk} \geq 510 \text{ MPa}$
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
modulo elastico:	$E_s = 210000 \text{ Mpa}$

3.3 ACCIAIO PER ANCORAGGI E BULLONI

Gli ancoraggi e la bulloneria degli ancoraggi devono essere di classe 8.8 con le seguenti proprietà meccaniche:

tensione caratteristica di rottura	$f_{yk} \geq 800 \text{ MPa}$
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 640 \text{ MPa}$

3.4 CALCESTRUZZO

Classe di resistenza:	C28/35
Resistenza caratteristica cubica a compressione:	$R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:	$f_{ck} = 29.05 \text{ N/mm}^2$

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA****RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE ANTIRUMORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	7 di 26

Resistenza media cilindrica a compressione:

$f_{cm} = 37.05 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico:

$E_{cm} = 32588 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a compressione:

$f_{cd} = 16.46 \text{ N/mm}^2$

Resistenza media a trazione semplice:

$f_{ctm} = 2.83 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica a trazione:

$f_{ctk} = 1.98 \text{ N/mm}^2$

Resistenza di calcolo a trazione:

$f_{ctd} = 1.32 \text{ N/mm}^2$

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

4.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Come concordato con la S.A. la progettazione delle strutture farà riferimento a:

- vita nominale $V_N = 100$ anni
- classe d'uso IV

In base a ciò risulta:

- coefficiente d'uso $C_U = 2.0$
- periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R = V_N \times C_U = 200$ anni

4.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Per la caratterizzazione dell'azione sismica delle opere si è fatto riferimento alle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine 7.669260

Longitudine 45.05083

Si riporta di seguito il riepilogo della parametrizzazione sismica:

TABELLA 1 PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DELLA MASSIMA ACCELERAZIONE LOCALE.

Stato limite	V_N [anni]	C_U	V_R [anni]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0	F_V	T_C^* [s]
SLO	100	2	200	120	0.040	2.660	0.715	0.226
SLD	100	2	200	201	0.046	2.689	0.780	0.245
SLV	100	2	200	1898	0.079	2.871	1.092	0.290
SLC	100	2	200	2475	0.084	2.897	1.135	0.291

Categoria suolo = C

Stato limite	Suolo	S _S	S _T	S	C _C	T _B	T _C	T _D
SLO (T_R60)	C	1.50	1.00	1.50	1.715	0.129	0.388	1.759
SLD	C	1.50	1.00	1.50	1.670	0.136	0.409	1.785
SLV	C	1.50	1.00	1.50	1.580	0.153	0.458	1.918
SLC	C	1.50	1.00	1.50	1.578	0.153	0.459	1.937

Per le analisi in condizioni sismiche è stato preso a riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e dunque i seguenti parametri:

- Categoria di suolo C;
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica: S_S = 1.580;
- Coefficiente di amplificazione topografica: S_T = 1.000;
- Massima accelerazione orizzontale al suolo a_g/g = 0.077.

	NODO DI TORINO COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA					
RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE ANTIRUMORE	COMMESSA NT0P	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO BA 00 00 001	REV. A	FOGLIO 10 di 26

5. COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica della barriera antirumore richiede la verifica del raggiungimento della resistenza strutturale del profilato.

5.1 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - SLU

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto dell'azione:

$$E_d = \gamma_E \cdot E[F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnica:

$$R_d = 1 / \gamma_R \cdot R[\gamma_F \cdot F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

Effetto delle azioni e della resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $E_d = E_k \cdot \gamma_E$, dei parametri di progetto X_k / γ_M e della geometria di progetto. Nella formulazione della resistenza compare esplicitamente il coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza.

5.2 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE

Le opere ed i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. Per ciascuno stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Nello specifico le analisi dovranno valutare gli spostamenti dell'opera per consentire di verificarne la compatibilità con la funzionalità attesa per l'opera stessa.

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ –
TORINO PORTA NUOVA****RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE
ANTIRUMORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	11 di 26

6. CRITERI DI VERIFICA**6.1 VERIFICHE STRUTTURALI***1.1.1 - Verifiche SLU*

È stata condotta la verifica in assenza ed in presenza di sisma per le sezioni maggiormente sollecitate della barriera antirumore.

1.1.2 - Verifiche SLE

In corrispondenza delle medesime sezioni sono state effettuate le verifiche sulla massima deformazione dell'elemento.



NODO DI TORINO

COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ –
TORINO PORTA NUOVA

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE
ANTIRUMORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	12 di 26

7. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguito si riassumono le condizioni di carico considerate nell'analisi di verifica delle strutture.

7.1 PESO PROPRIO DELLA BARRIERA

Il peso della barriera fonoassorbente è stato assunto pari a 1 kN/m² in modo da simulare lo scenario di pannello saturo d'acqua in seguito alle piogge.

7.2 PRESSIONE CINETICA DEL VENTO

L'azione del vento è valutata, in termini di pressione, a partire dalle prescrizioni di normativa (D.M. 17/01/2018 e Istruzioni CNR DT 207:2008):

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_r^2 \cdot c_e(z)$$

dove:

q_b = pressione cinetica di picco

ρ = densità media dell'aria, pari a 1.25 kg/m³

v_r = velocità di riferimento di progetto in m/s

c_e = coefficiente di esposizione

Di seguito si riportano tutte le espressioni relative alla determinazione della pressione cinetica di picco:

$$v_r = v_b \cdot c_r \quad \text{velocità di riferimento di progetto}$$

$$v_b = v_{b0} \cdot c_a \quad \text{velocità di riferimento del vento associata a un periodo di ritorno di 50 anni}$$

v_{b0} = velocità di base di riferimento a livello del mare (vedi tabella successiva)

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

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

a_0 = altitudine di riferimento sul livello del mare (vedi tabella successiva)

ka = coefficiente funzione della zona (vedi tabella successiva)

as = altitudine dell'opera sul livello del mare

cr = coefficiente di ritorno

$$c_r = 0.75$$

per TR = 1

$$c_r = 0.75 + 0.0625 \cdot \ln(T_R)$$

per 1 < TR < 5

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

per 5 ≤ TR < 50

$$c_r = 0.75 \cdot \left\{ 1 - 0.138 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right] \right\}$$

per TR ≥ 50

TR = tempo di ritorno

ce = coefficiente di esposizione

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

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

ct = coefficiente di topografia (pari ad 1)

kr = fattore di terreno (vedi tabella successiva)

z0 = lunghezza di rugosità (vedi tabella successiva)

zmin = altezza minima (vedi tabella successiva)

Per i fattori vb0, a0, ka, kr, z0, e zmin si rimanda alle tabelle seguenti:

TABELLA 2 PARAMETRI RELATIVI ALLA ZONE GEOGRAFICA V_{B,0}, A₀, K_A,

Zona	Descrizione	v _{b,0} [m/s]	a ₀ [m]	k _a [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

TABELLA 3 PARAMETRI RELATIVI K_r, Z₀, E Z_{MIN}

Categorie di esposizione del sito	k _r	z ₀ (m)	z _{min} (m)
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

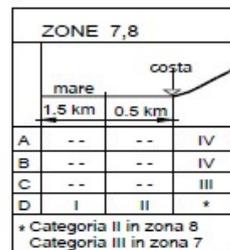
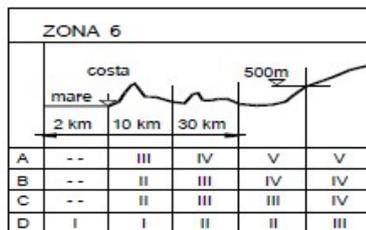
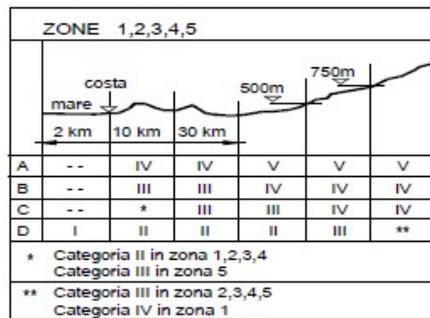
TABELLA 4 VALORI DEL TEMPO DI RITORNO T_{R,0}

Proprietà della costruzione	T _{R,0} (anni)
Costruzione provvisoria, in fase di realizzazione o di demolizione, purché il periodo in cui sussiste tale stato sia minore di 1 anno. Per le costruzioni provvisorie, è necessario che sia minore di 1 anno l'insieme di tutti i successivi periodi nei quali la costruzione è riutilizzata	10
Costruzione ordinaria	50
Costruzione di rilevante importanza	100
Costruzione di importanza strategica	200

TABELLA 5 TABELLE PER DEFINIZIONE DI CLASSE DI RUGOSITÀ ED ESPOSIZIONE

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.



In riferimento al progetto in esame si assume quanto segue:

zona geografica	1
classe di rugosità del terreno	A
classe di esposizione del sito	V
altitudine sul livello del mare	as = 245 m s.l.m.m.
tempo di ritorno	TR = 100 anni

Di seguito si riporta una tabella di calcolo della pressione cinetica di picco per le barriera previste in progetto:

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE ANTIRUMORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	16 di 26

TABELLA 6 CALCOLO DELLA PRESSIONE CINETICA DI PICCO

Altezza muro:	$h_m =$	1,50 m
Altezza barriera:	$h_{barr} =$	2,50 m
Altitudine sul livello del mare:	$a_s =$	245 m s.l.m.
Zona di riferimento:		1
Altitudine di riferimento sul livello del mare:	$a_0 =$	1000 m s.l.m.
Velocità di riferimento base:	$v_{b,0} =$	25 m/s
Parametro funzione della zona:	$k_a =$	0,40 1/s
Coefficiente di altitudine:	$c_a =$	1,00
Velocità di riferimento:	$v_b =$	25,00 m/s
Tempo di ritorno:	$T_R =$	100 anni
Coefficiente di ritorno	$c_r =$	1,063
Velocità di riferimento di progetto:	$v_p =$	26,57 m/s
Coefficiente di topografia:	$c_t =$	1,00
Classe di Rugosità:		A
Categoria di esposizione:		V
Altezza dal suolo:	$z =$	1,50 m
Parametro funzione della classe di esposizione:	$k_r =$	0,230
Altezza di riferimento:	$z_0 =$	0,70 m
Altezza minima:	$z_{min} =$	12,00 m
Coefficiente di esposizione:	$c_e =$	1,479
Pressione cinematica di picco:	$q_p =$	0,65 kN/m²

Calcolata la pressione cinetica di picco, in accordo con le indicazioni contenute nella CNR-DT 207/2008 (appendice G5), sono stati tenuti in conto gli effetti provocati dall'azione del vento nei tratti di estremità delle barriere acustiche. La pressione complessiva sull'intero fronte di esposizione della barriera viene suddivisa in fasce di sviluppo dipendente dalla lunghezza e dall'altezza dell'elemento di riferimento:

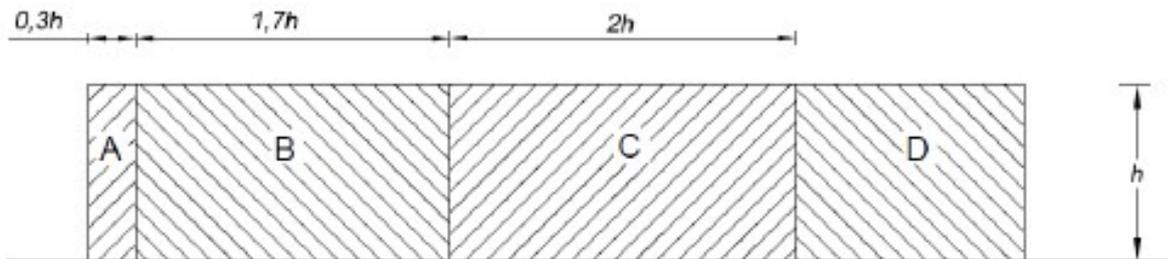


FIGURA 2: FASC DI SVILUPPO PER IL CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO SU BARRIERE

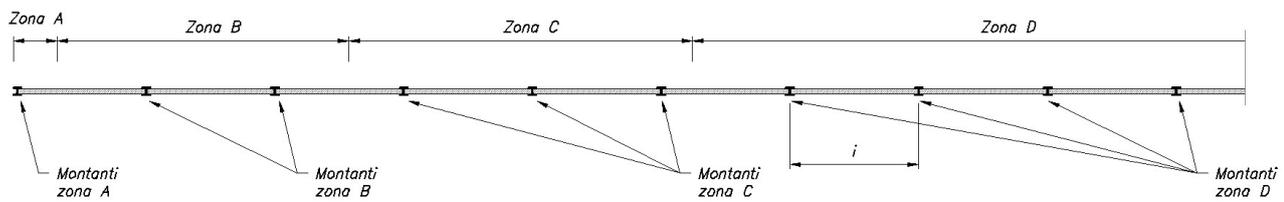


FIGURA 3 SUDDIVISIONE IN FASCE DISTINTE DI PRESSIONE DELLA BARRIERA

A ciascuna fascia di spinta, viene attribuito un differente coefficiente di pressione complessiva, sia in presenza che in assenza di chiusure laterali, di seguito riassunto:

TABELLA 7 COEFFICIENTE DI PRESSIONE COMPLESSIVA

φ	Chiusura laterale	l/h	A	B	C	D
1,0	no	<3	2,3	1,4	1,2	1,2
		5	2,9	1,8	1,4	
		>10	3,4	2,1	1,7	
0,8	si/no	tutti	2,1	1,8	1,4	1,2

dove:

φ = densità dell'elemento

l = lunghezza dell'elemento

h = altezza dell'elemento

Facendo riferimento al caso in progetto (senza chiusure laterali), con densità unitaria dell'elemento e con rapporto $l/h > 10$, si definiscono i coefficienti di pressione complessiva e quindi, nota la pressione cinetica di picco q_p , si determina la pressione complessiva di progetto p_{tot} per ciascuna fascia della barriera fonoassorbente.

TABELLA 8 PRESSIONE COMPLESSIVA DI PROGETTO DEL VENTO

Tratto	c_p	p_{tot} [kN/m ²]
A	3,4	2,22
B	2,1	1,37
C	1,7	1,11
D	1,2	0,78

Nota la pressione del vento di progetto si determinano le azioni caratteristiche agenti al piede della barriera (sommità cordolo di coronamento paratia):

TABELLA 9 AZIONI CARATTERISTICHE ALLA BASE DELLA PIASTRA

Tratto	Montante	p_{tot} [kN/m ²]	int.[m]	V_{Ed} [kN]	M_{Ed} [kNm]	N_{Ed} [kN]
A	HEA 180	2,22	2,00	16,64	20,80	8,83
B	HEA 180	1,37	2,00	10,28	12,85	8,83
C	HEA 180	1,11	2,00	8,32	10,40	8,83
D	HEA 180	0,78	2,00	5,87	7,34	8,83

Come si evince le massime sollecitazioni si determinano in corrispondenza del tratto A della barriera antirumore e per cui a vantaggio di sicurezza si considera questa la condizione di carico del vento per l'intera opera.

7.3 PRESSIONE DINAMICA VEICOLARE

Per pressione dinamica veicolare si intende la pressione ortogonale al piano delle barriere fonoassorbenti che si genera a causa del passaggio dei veicoli in adiacenza. Vista la tipologia di traffico, la distanza del dispositivo dalla corsia di marcia (> 3 m) e la velocità di percorrenza della strada (50 km/h), il valore della pressione dinamica veicolare risulta inferiore alla pressione dinamica del vento, per cui assumendo che la pressione cinetica del vento e la pressione dinamica veicolare non agiscano simultaneamente, l'analisi con quest'ultima condizione di carico viene omessa.

7.4 PRESSIONE DINAMICA FERROVIARIA

La forza dell'aria esercitata sulla barriera a causa del traffico ferroviario è considerata influente per la verifica del profilato metallico, in quanto la quota della barriera risulta essere superiore alla massima altezza raggiunta dai convogli ferroviari. Per tale motivo la condizione di traffico ferroviario non risulta applicato al caso di studio analizzato

7.5 AZIONE SISMICA

L'azione sismica può essere valutata tramite l'analisi statica lineare che permette di distribuire le forze orizzontali proporzionalmente con le masse in gioco. La forza da applicare viene calcolata tramite la relazione seguente:



NODO DI TORINO

**COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ –
TORINO PORTA NUOVA**

**RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE
ANTIRUMORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	19 di 26

$$F_h = S_a(T_1) \cdot W \cdot \lambda \cdot \frac{1}{g}$$

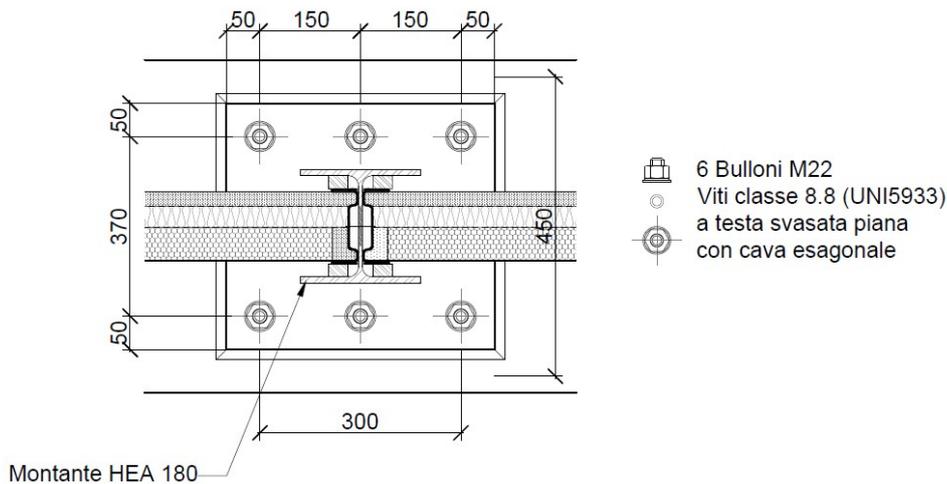
Assumendo il fattore λ come unitario e considerando un'accelerazione caratteristica del sito a_g dello 0.079 la forza orizzontale risulta molto inferiore rispetto all'azione del vento e per tale ragione la verifica in condizioni sismiche non risulta dimensionante.

8. ANALISI DI CALCOLO

8.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La barriera fonoassorbente è inserita all'interno di due profilati metallici HEA 180 ad interasse 2 m e di altezza totale dall'estradosso del muro pari a 2.5 m. I montanti metallici sono vincolati al muro sottostante mediante una piastra in acciaio di spessore 30 mm in cui sono inseriti 3 bulloni M22 per lato. In Figura 4 è riportata la sezione tipologica della piastra di ancoraggio con il montante (HEA 180) a sostegno della pannellatura fonoassorbente.

FIGURA 4 SEZIONE TIPO DEL MONTANTE DELLA BARRIERA



8.1 MODELLO DI CALCOLO

La struttura è stata schematizzata come una trave incastrata alla base soggetta all'azione del vento. Il carico agente del vento è supposto distribuito lungo la superficie del pannello e con valore pari al massimo calcolato nel paragrafo Analisi dei Carichi che risulta essere pari a 2.22 kN/m². In Figura 5 sono riportate le sollecitazioni di calcolo a cui è soggetto il montante metallico composto dall'HEA 180.

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE ANTIRUMORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NTOP	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	21 di 26

FIGURA 5 SOLLECITAZIONI AGENTI SUL MONTANTE METALLICO

Caratteristiche di sollecitazione nella sezione di verifica		
Forza normale (positiva se di compressione)	N_{Ed}	8,83 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela all'anima	$V_{z,Ed}$	-16,64 [kN]
Forza di taglio agente in direzione parallela alle ali	$V_{y,Ed}$	0,00 [kN]
Momento flettente attorno all'asse maggiore di inerzia	$M_{y,Ed}$	-20,80 [kNm]
Momento flettente attorno all'asse minore di inerzia	$M_{z,Ed}$	0,00 [kNm]
Momento torcente primario (alla Saint Venant)	T_{Ed}	0,00 [kNm]

In Figura 6 sono riportate le caratteristiche geometrico-meccaniche del profilato scelto.

FIGURA 6 SCHEMATIZZAZIONE DEL CORDOLO DI CORONAMENTO DON NERVATURE

S 355		
Valore di snervamento dell'acciaio del profilo	f_{yk}	355 [N/mm ²]
Valore di rottura dell'acciaio del profilo	f_{uk}	510 [N/mm ²]
Modulo di elasticità dell'acciaio del profilo	E	210000 [N/mm ²]
Modulo di elasticità tangenziale dell'acciaio del profilo	G	80769 [N/mm ²]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di resistenza	γ_{M0}	1,05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di stabilità	γ_{M1}	1,05 [-]
Coefficiente parziale di sicurezza per le verifiche di rottura	γ_{M2}	1,25 [-]

Caratteristiche meccaniche del profilo		
HE 180 A		
Altezza della sezione trasversale	h	171 [mm]
Larghezza della sezione trasversale	b_f	180 [mm]
Spessore dell'anima	t_w	6 [mm]
Spessore dell'ala	t_f	9,5 [mm]
Raggio di raccordo	r	15 [mm]
Area della sezione trasversale	A	4530 [mm ²]
Altezza della sezione trasversale al netto delle ali	h_w	152 [mm]
Altezza del pannello d'anima	c_w	122 [mm]
Diametro massimo consentito dei bulloni d'ala	$d_{bf,max}$	24 [mm]
Passo minimo trasversale tra i bulloni d'ala	$p_{b,min}$	86 [mm]
Passo massimo trasversale tra i bulloni d'ala	$p_{b,max}$	92 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse forte	I_y	2,510E+07 [mm ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse forte	$W_{el,y}$	2,936E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse forte	$W_{pl,y}$	3,249E+05 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano dell'anima	$A_{V,z}$	1447 [mm ²]
Raggio d'inerzia attorno all'asse forte	i_y	74,5 [mm]
Momento d'inerzia della sezione trasversale attorno all'asse debole	I_z	9,246E+06 [mm ⁴]
Modulo di resistenza elastico attorno all'asse debole	$W_{el,z}$	1,027E+05 [mm ³]
Modulo di resistenza plastico attorno all'asse debole	$W_{pl,z}$	1,565E+05 [mm ³]
Area resistente a taglio nel piano delle ali	$A_{V,y}$	3618 [mm ²]
Raggio d'inerzia attorno all'asse debole	i_z	45,2 [mm]
Momento d'inerzia torsionale	I_t	1,480E+05 [mm ⁴]
Costante di Warping	I_w	6,021E+10 [mm ⁶]

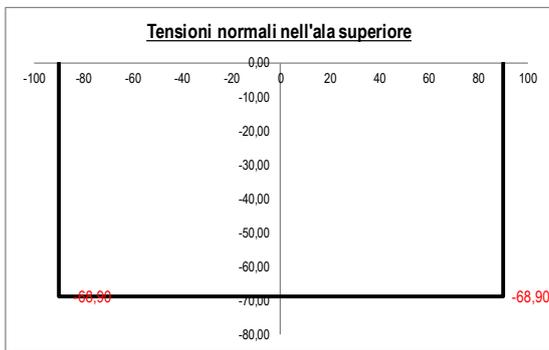
8.1 RISULTATI DELLE ANALISI

FIGURA 7: DISTRIBUZIONE DELLE TENSIONI NELLA SEZIONE

Classificazione della sezione trasversale di verifica

Determinazione dello stato tensionale dovuto a $N - M_y - M_z$

Distribuzione delle tensioni normali nei punti salienti della sezione trasversale

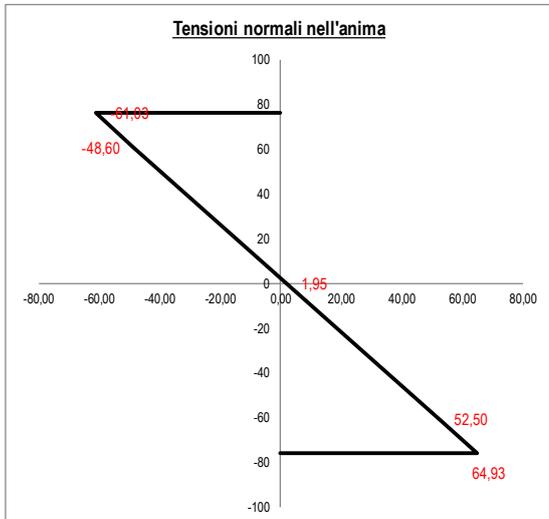


Tensioni elastiche per CL < 4

σ_A	-68,90	[N/mm ²]
σ_B	-68,90	[N/mm ²]
σ_C	-68,90	[N/mm ²]
σ_D	-61,03	[N/mm ²]
σ_E	-61,03	[N/mm ²]

Tensioni efficaci per CL = 4

$\sigma_{A,eff}$	-68,90	[N/mm ²]
$\sigma_{B,eff}$	-68,90	[N/mm ²]
$\sigma_{C,eff}$	-68,90	[N/mm ²]
$\sigma_{D,eff}$	-61,03	[N/mm ²]
$\sigma_{E,eff}$	-61,03	[N/mm ²]

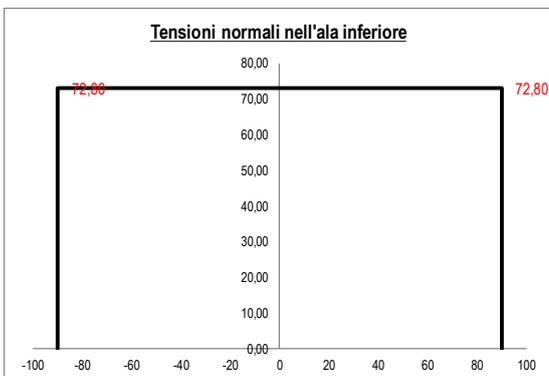


Tensioni elastiche per CL < 4

σ_F	-61,03	[N/mm ²]
$\sigma_{F'}$	-48,60	[N/mm ²]
σ_G	1,95	[N/mm ²]
σ_H	52,50	[N/mm ²]
$\sigma_{H'}$	64,93	[N/mm ²]

Tensioni efficaci per CL = 4

$\sigma_{F,eff}$	-61,03	[N/mm ²]
$\sigma_{F',eff}$	-48,60	[N/mm ²]
$\sigma_{G,eff}$	1,95	[N/mm ²]
$\sigma_{H,eff}$	52,50	[N/mm ²]
$\sigma_{H',eff}$	64,93	[N/mm ²]



Tensioni elastiche per CL < 4

σ_I	64,93	[N/mm ²]
σ_L	64,93	[N/mm ²]
σ_M	72,80	[N/mm ²]
σ_N	72,80	[N/mm ²]
σ_O	72,80	[N/mm ²]

Tensioni efficaci per CL = 4

$\sigma_{I,eff}$	64,93	[N/mm ²]
$\sigma_{L,eff}$	64,93	[N/mm ²]
$\sigma_{M,eff}$	72,80	[N/mm ²]
$\sigma_{N,eff}$	72,80	[N/mm ²]
$\sigma_{O,eff}$	72,80	[N/mm ²]

FIGURA 8: VERIFICHE DEL PROFILATO HEA 180

Verifiche di resistenza della sezione trasversale		
Resistenza a trazione pura		
Resistenza plastica a trazione	$N_{t,Rd}$	1531,57 [kN]
Verifica a trazione pura	ρ_{Nt}	0,000 [-]
Resistenza a compressione pura		
Resistenza a compressione pura	$N_{c,Rd}$	1531,57 [kN]
Verifica a compressione pura	ρ_{Nc}	0,006 [-]
Resistenza a taglio		
Tensioni tangenziali nell'ala dovute al momento torcente	$\tau_{tf,Ed}$	0,00 [N/mm ²]
Tensioni tangenziali nell'anima dovute al momento torcente	$\tau_{tw,Ed}$	0,00 [N/mm ²]
Verifica tensionale per pura torsione	ρ_T	0,000 [-]
Area resistente a taglio in direzione parallela all'anima	$A_{vz,eff}$	1447,00 [mm ²]
Resistenza plastica a taglio in direzione parallela all'anima	$V_{pl,z,Rd}$	282,45 [kN]
Area resistente a taglio in direzione parallela alle ali	$A_{vy,eff}$	3420,00 [mm ²]
Resistenza plastica a taglio in direzione parallela alle ali	$V_{pl,y,Rd}$	667,58 [kN]
Resistenza plastica a taglio in direzione parallela all'anima, ridotta per T_{Ed}	$V_{pl,T,z,Rd}$	282,45 [kN]
Resistenza plastica a taglio in direzione parallela alle ali, ridotta per T_{Ed}	$V_{pl,T,y,Rd}$	667,58 [kN]
Verifica a taglio - torsione in direzione parallela all'anima	ρ_{Vz}	0,059 [-]
Verifica a taglio - torsione in direzione parallela alle ali	ρ_{Vy}	0,000 [-]
Resistenza a flessione		
Modulo di resistenza di calcolo attorno all'asse maggiore	W_y	3,25E+05 [mm ³]
Resistenza a flessione attorno all'asse maggiore	$M_{cy,Rd}$	109,85 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse maggiore	ρ_{My}	0,189 [-]
Modulo di resistenza di calcolo attorno all'asse minore	W_z	1,57E+05 [mm ³]
Resistenza a flessione attorno all'asse minore	$M_{cz,Rd}$	52,91 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse minore	ρ_{Mz}	0,000 [-]
Resistenza a flessione e taglio (per sezioni di classe 1 o 2)		
Fattore di riduzione per la presenza della forza di taglio parallela all'anima	$\rho_{Vz,red}$	0,00 [-]
Fattore di riduzione per la presenza della forza di taglio parallela alle ali	$\rho_{Vy,red}$	0,00 [-]
Resistenza a flessione ridotta, attorno all'asse maggiore	$M_{Vy,Rd}$	109,85 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse maggiore	$\rho_{My - Vz}$	0,189 [-]
Resistenza a flessione ridotta, attorno all'asse minore	$M_{Vz,Rd}$	52,91 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse minore	$\rho_{Mz - Vy}$	0,000 [-]
Resistenza a flessione, forza assiale e taglio		
<i>Calcolo plastico per sezioni in classe 1 o 2</i>		
Parametri limite che valutano l'intensità della forza assiale	$N_{lim,1}$	382,89 [kN]
	$N_{lim,2}$	154,17 [kN]
	$N_{lim,3}$	308,34 [kN]
	n	0,006 [-]
	a	0,245 [-]
Resistenza a flessione attorno all'asse maggiore ridotta per effetto di N_{Ed}	$M_{Ny,Rd}$	109,85 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse maggiore	$\rho_{N - My - pl}$	0,189 [-]
Resistenza a flessione attorno all'asse minore ridotta per effetto di N_{Ed}	$M_{Nz,Rd}$	52,91 [kNm]
Verifica flessionale attorno all'asse minore	$\rho_{N - Mz - pl}$	0,000 [-]
Verifica di presso/tenso flessione biassiale (metodo normale)	$\rho_{N - My - Mz - pl}$	0,036 [-]
Verifica di presso/tenso flessione biassiale (metodo cautelativo)	$\rho_{N - My - Mz - pl}$	0,189 [-]

La verifica è stata condotta anche in termini di deformabilità e i risultati sono riportati in Figura 9.

FIGURA 9: VERIFICA DI DEFORMABILITÀ

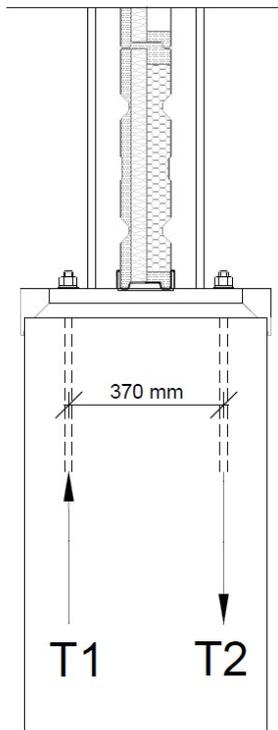
Tratto	p_{tot} [kN/m ²]	int.[m]	p_{tot} [kN/m]	Montante	I [mm ⁴]	d [mm]	d_{amm} [mm]	Verifica
A	2,22	2,00	4,44	HEA 180	25100000	4,11	16,67	SI
B	1,37	2,00	2,74	HEA 180	25100000	2,54	16,67	SI
C	1,11	2,00	2,22	HEA 180	25100000	2,06	16,67	SI
D	0,78	2,00	1,57	HEA 180	25100000	1,45	16,67	SI

Tutte le verifiche risultano soddisfatte per le condizioni di carico analizzate.

8.1 VERIFICA DELLA BULLONATURA

La bullonatura composta da ancoraggi 6 ancoraggi M22 di classe di resistenza 8.8 è sollecitata a trazione a causa del momento agente alla base della piastra. È possibile ricavare la forza di estrazione dividendo il momento per il braccio della coppia tra le forze T1 e T2 come da Figura 10.

FIGURA 10: BRACCIO DELLE FORZE SUGLI ANCORAGGI



La forza di estrazione sulla fila soggetta a trazione risulta quindi pari a:

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE ANTIRUMORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	25 di 26

$$T1=20.80/0.37= 56.21 \text{ kN}$$

Ogni barra è sollecitata con una forza di $E_d = 18.74 \text{ kN}$. Considerando degli ancoraggi M22 di diametro e una resistenza tangenziale di aderenza calcolata con la formula di normativa:

La resistenza tangenziale di aderenza di progetto f_{bd} vale:

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c \quad [4.1.6]$$

dove:

γ_c è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo, pari a 1,5;

f_{bk} è la resistenza tangenziale caratteristica di aderenza data da:

$$f_{bk} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk} \quad [4.1.7]$$

in cui

$\eta_1 = 1,0$ in condizioni di buona aderenza;

$\eta_1 = 0,7$ in condizioni di non buona aderenza, quali nei casi di armature molto addensate, ancoraggi in zona tesa, ancoraggi in zone superiori di getto, in elementi strutturali realizzati con casseforme scorrevoli, a meno che non si adottino idonei provvedimenti;

$\eta_2 = 1,0$ per barre di diametro $\Phi \leq 32 \text{ mm}$

$\eta_2 = (132 - \Phi)/100$ per barre di diametro superiore

La resistenza caratteristica a trazione è assunta pari a:

$$f_{ctk} = 0.21 \cdot f_{ck}^{2/3} = 0.21 \cdot 28^{2/3} = 1.94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2.25 \cdot 0.7 \cdot 1 \cdot 1.94 = 3.06 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 3.06/1.5 = 2.04 \text{ N/mm}^2$$

Ogni ancoraggio di lunghezza 30 cm può portare quindi:

$$F_d = 2.04 \cdot 22 \cdot \pi \cdot 300 = 42298 \text{ N} = 42.30 \text{ kN}$$

La verifica a sfilamento risulta quindi soddisfatta in quanto $F_d > E_d$.

In sede di progettazione esecutiva potrà essere presa in considerazione l'utilizzo di ancoraggi con rosetta o con gancio.

Per quanto riguarda la verifica strutturale del bullone a trazione la resistenza dell'elemento è data dalla formula di normativa:

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{tbk} A_{tes} / \gamma_{M2} \quad \text{per i bulloni};$$

La resistenza del singolo bullone è pari a:

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot 800 \cdot 303 / 1.25 = 174.53 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta in quanto $F_{t,Rd} > E_d$

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA****RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERE ANTIRUMORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	BA 00 00 001	A	26 di 26

Sul piano della piastra agisce anche il momento trasmesso alla base del montante. Il valore dell'azione è pari a 16.64 kN. È necessario eseguire la verifica di resistenza a taglio dell'elemento bullone che viene verificata con l'applicazione della formula seguente:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8;}$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot 800 \cdot 303 / 1.25 = 116.35 \text{ kN}$$

Anche in questo caso la verifica risulta soddisfatta in quanto $F_{v,Rd}$ risulta maggiore di $E_d = 16.64 \text{ kN}$.