

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO

LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo.

BARRIERE ANTIRUMORE

BA 03 P H5

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra PF

SCALA:

-

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

N B 1 R 0 9 D 2 6 C L R I 0 0 0 5 0 0 4 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	Febbraio 2021	A. Maran	Febbraio 2021	M. Berlingieri	Febbraio 2021	A. Perego Febbraio 2021

File: NB1R09D26CLRI0005004A.doc

n. Elab.:

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	2 di 34

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.1	QUADRO NORMATIVO	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	MATERIALI STRUTTURALI	8
4	ANALISI DEI CARICHI	9
4.1	ANALISI DEI CARICHI DELLA BARRIERA	9
4.1.1	<i>Peso proprio</i>	9
4.1.2	<i>Azione del vento</i>	10
4.1.3	<i>Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario</i>	15
	VERIFICA DEI MONTANTI E DELLE PIASTRE DI BASE BARRIERA ML	18
4.2	VERIFICA A RESISTENZA DELLE MEMBRATURE	19
	LA VERIFICA RISULTA SODDISFATTA. VERIFICA A DEFORMAZIONE	19
4.3	VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO	21
4.4	VERIFICA A FATICA DEL MONTANTE	23
4.5	VERIFICA CORDOLO DI TESTA DEL MURO ESISTENTE	24
4.6	VERIFICA DELLA PIASTRA DI BASE	28
4.6.1	<i>Verifica a fatica dei tirafondi</i>	33

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	3 di 34

1 PREMESSA

La presente relazione intende descrivere i criteri e le scelte progettuali adottate nel presente progetto definitivo per la realizzazione di barriere antirumore nel comune di Bergamo.

Tale lavoro si individua nell'ambito del progetto del prolungamento del raddoppio della linea ferroviaria S.Pietro – Bergamo – Montello.

In particolare, lo scopo della presente relazione sono i calcoli relativi all'opera di sostegno esistente per il posizionamento delle barriere ML per il tratto BA-P-03, il quale si estende per uno sviluppo di circa 66.00m. Visto che, il piano di mitigazione acustica richiede un'altezza della barriera pari a 5.00 m da p.f., è stata prevista una struttura metallica leggera costituita da montanti HEB 220 e pannelli fonoassorbenti ancorati al cordolo di testa del muro esistente, come indicato in Figura 1.

Per quanto riguarda la verifica dei muri di sostegno esistenti è stata considerata la sezione denominata tipo C, come da elaborati di riferimento delle carpenterie ed armature del progetto esistente (progetto costruttivo RFI, 2004).

In questo tratto, pur non essendo necessario in base agli esiti delle verifiche, alla luce di alcune incertezze sulle effettive sezioni dei muri esistenti, sono stati previsti interventi di rinforzo degli stessi mediante inserimento di micropali inclinati collegati al paramento del muro al fine di assorbire le forze orizzontali. Tale intervento non viene considerato, cautelativamente, nelle verifiche di stabilità del muro.

Si procede inoltre a un intervento di demolizione e ricostruzione dei cordoli previa ripresa dei ferri verticali del paramento, in quanto la resistenza dei cordoli esistenti non è sufficiente ai fini dell'installazione della barriera antirumore.

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	4 di 34

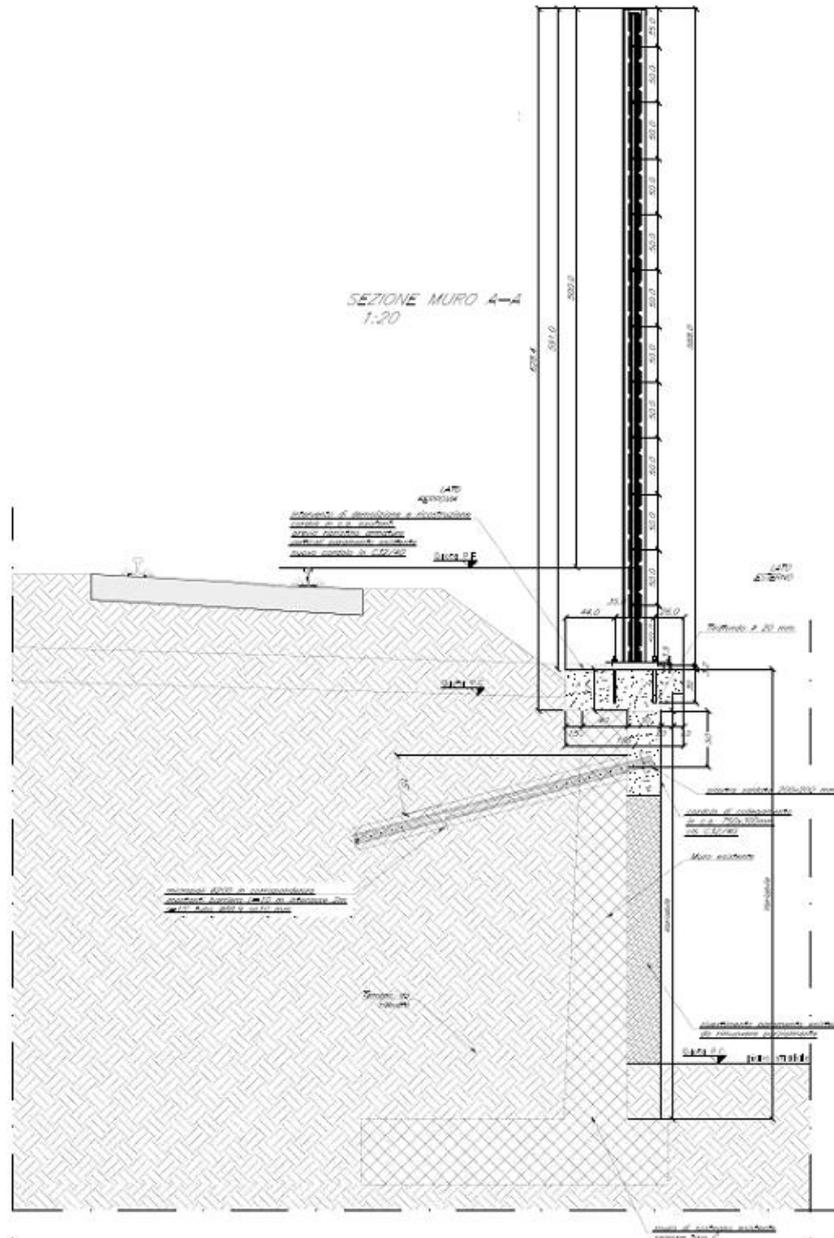


Figura 1 – Sezione barriera ML-1 ancorata alla testa del muro esistente

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	5 di 34

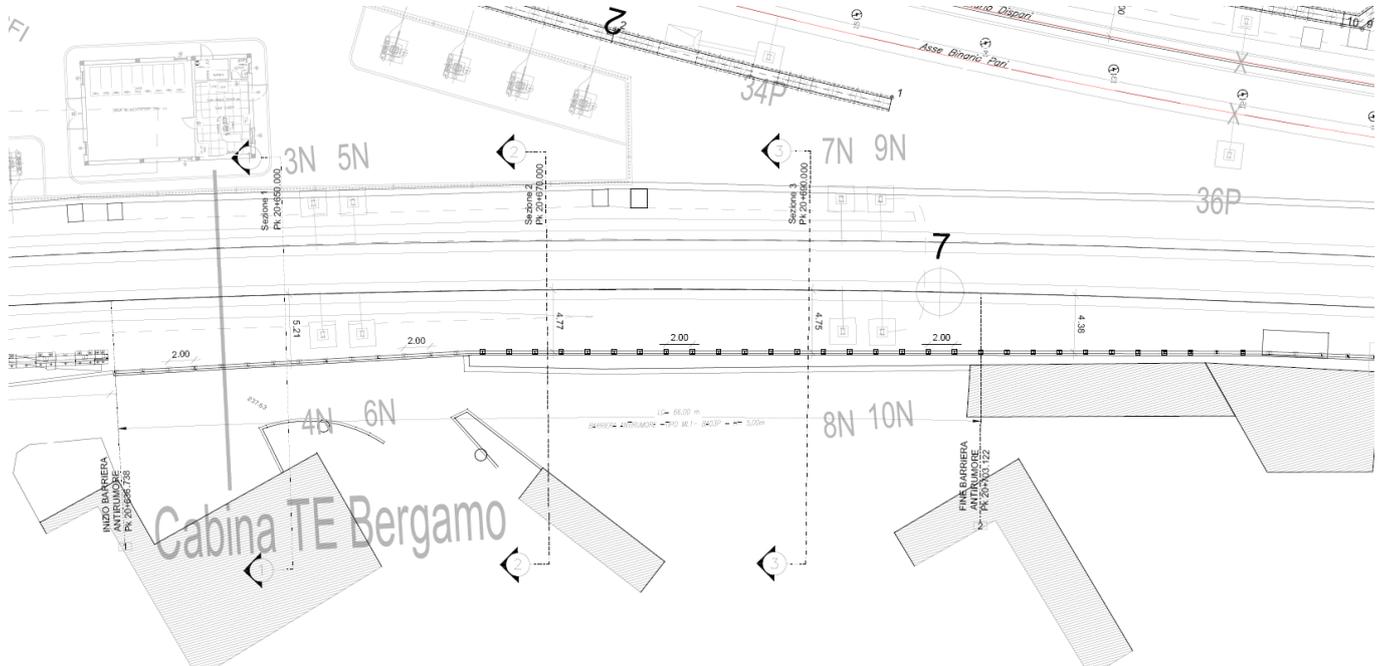


Figura 2 – Stralcio planimetrico della barriera ML BA03 P

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO LOTTO 9 BARRIERE ANTIRUMORE</p>					
<p>BA 03 P RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra PF</p>	<p>COMMESSA NB1R</p>	<p>LOTTO 09</p>	<p>CODIFICA D 26 CL</p>	<p>DOCUMENTO RI0005 004</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 6 di 34</p>

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Quadro normativo

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17.01.2018;
- Circolare n.7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- UNI EN 206-1/2014 – “Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- UNI 11104/2004 – “Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità. Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”;
- Norme UNI ENV 1991 ; UNI ENV 1992; UNI EN 1993; UNI EN 1997; UNI EN 1998;
- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 C del 20.12.2019;
- “CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI”–RFI DTC SICS SP IFS 001B
- Regolamento (UE) N.1299/14 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea.
- Eurocodice EN 1991-2:2003/AC:2010 “Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti”.
- UNI EN 1991-1-4:2005 – “Eurocodice 1 – Azioni sulle Strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del Vento”.
- UNI EN 1992-1-1:2006 – “Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”.
- UNI EN 1993-1-1:2005 – “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”.
- 2011/275/UE Specifica Tecnica di Interoperabilità sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale.
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019



**PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO
LOTTO 9
BARRIERE ANTIRUMORE**

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	7 di 34

2.2 Documenti di riferimento

Barriera BA03P ML H=5 su muro esistente -Linea BG-Treviglio da pk 20+636.738 a pk 20+703.122 - Sezioni	1:200	1	NB1R	0	9	D	26	W9	RI	0	0	0	0	002	A
---	-------	---	------	---	---	---	----	----	----	---	---	---	---	-----	---

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	8 di 34

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per questa fase progettuale, sono stati considerati i materiali desunti dagli elaborati di progetto originale.

3.1 Materiali strutturali

CALCESTRUZZO

- **Magrone di fondazione**
Classe C12/15

Peso Specifico $\rho = 25 \text{ kN/m}^3$

Modulo Elastico $E = 27000 \text{ MPa}$

Resistenza Cilindrica $f_{ck} = 12 \text{ MPa}$

Resistenza Cubica $R_{ck} = 15 \text{ MPa}$

- **Fondazione e elevazione muri**
Classe C20/25

Peso Specifico $\rho = 25 \text{ kN/m}^3$

Modulo Elastico $E = 29962 \text{ MPa}$

Resistenza Cilindrica $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$

Resistenza Cubica $R_{ck} = 55 \text{ MPa}$

ACCIAIO

- **Per cemento armato**

Tipo FeB44k

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	9 di 34

4 ANALISI DEI CARICHI

4.1 Analisi dei carichi della barriera

4.1.1 Peso proprio

In questo capitolo si descrivono i passaggi effettuati per ottenere le sollecitazioni che i pannelli fonoassorbenti trasferiscono al muro sottostante.

In questa condizione di carico si considerano i pesi degli elementi strutturali in acciaio e calcestruzzo.

La barriera presenta moduli fonoassorbenti di altezza pari a 6.00 m, e di lunghezza circa 2.00 m.

Per tale tipologia si considerano i seguenti pesi propri:

	p [kN/m]	h [m]
Montante HEB220	0.715	6.00

	p [kN/m²]	h [m]	l [m]
Pannelli fonoassorbenti - bagnati	1.0	6.00	2.00

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	10 di 34

4.1.2 Azione del vento

Si considera un caso limite di massima pressione esercitabile con massima altezza della barriera sopra un rilevato.

La pressione del vento è data dalla seguente espressione (D.M.2018, §3.3.4):

$$p = q_r \times c_e \times c_d \times c_p$$

dove:

q_r = pressione cinetica di riferimento

c_e = coefficiente di esposizione

c_d = coefficiente dinamico

c_p = coefficiente di forma o coefficiente aerodinamico.

La pressione cinetica di riferimento q_r è definita:

$$q_r = 0.5 \times \rho \times v_r^2 \quad [\text{N/m}^2]$$

dove:

ρ = densità dell'aria assunta convenzionalmente pari a 1.25 kg/m³;

v_r = velocità di riferimento del vento (in m/s) = $v_b \times c_r$

con: $v_b = v_{b0} \times c_a$; $c_r = 1$ per $T_r = 50$ anni.

Il coefficiente di altitudine $c_a = 1$ per $a_s < a_0$

La velocità di riferimento v_r del vento è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (Tab. 3.3.II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni. Essa è definita in funzione del sito dell'opera in progetto:

BA 03 P

 RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
 PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	11 di 34

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

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

Bergamo ricade in zona 1 e pertanto si ottiene:

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$a_0 = 1000 \text{ m}$$

$$v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m/s} = v_r$$

La velocità di riferimento v_b dipende inoltre dal tempo di ritorno adottato secondo la seguente espressione:

$$v_b(\text{TR}) = \alpha_R v_b$$

dove:

TR = tempo di ritorno;

α_R = coefficiente moltiplicativo (fig. C3.3.1, formula C3.3.2);

v_b = velocità di riferimento del vento associata ad un periodo di ritorno di 50 anni.

Si considera un tempo di ritorno pari a 50 anni, per il quale $\alpha_R = 1$ e quindi $v_b(\text{TR}) = v_b = 25 \text{ m/s}$.

Si ottiene pertanto la pressione cinetica di riferimento q_r :

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO LOTTO 9 BARRIERE ANTIRUMORE					
	BA 03 P RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra PF	COMMESSA NB1R	LOTTO 09	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0005 004	REV. A

$$q_r = 0.5 \times 1.25 \times 25^2 = 390.6 \text{ N/m}^2$$

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z del punto considerato sul suolo, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione.

Esso viene calcolato mediante le espressioni di seguito:

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

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

dove k_r , c_t , z_0 e z_{\min} sono definiti nella seguente tabella (tab. 3.3.II):

Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

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

Il coefficiente di topografia c_t viene assunto pari a 1.0 (§ 3.3.7).

Per il sito relativo alla struttura in esame si considera la classe di rugosità del terreno B (tab. 3.3.III):

Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 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 zona 1, con classe di rugosità B ed oltre la costa si ottiene pertanto la categoria di esposizione del sito IV (figura 3.3.2):

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	13 di 34

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa			500m	750m	
	mare					
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Riassumendo:

classe di rugosità del terreno B;

categoria di esposizione IV:

$$k_r = 0.22$$

$$z_0 = 0.30 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 8.0 \text{ m}$$

Per il calcolo dell'azione del vento sulla struttura si considera come altezza di riferimento z l'altezza massima della costruzione sopra il piano di campagna.

Per quanto riguarda muro in esame, per il calcolo della pressione si considerano montanti alti circa 6.00 m (altezza montante), sommando ai montanti l'altezza del muro stesso, si ottiene:

$$z = 6.00 + 4.00 = 10.00 \text{ m}$$

In funzione di z si calcola il coefficiente di esposizione:

$$c_e(z) = c_e(10.00 \text{ m}) = 1.783$$

Il coefficiente dinamico viene cautelativamente assunto unitario: $cd = 1.0$.

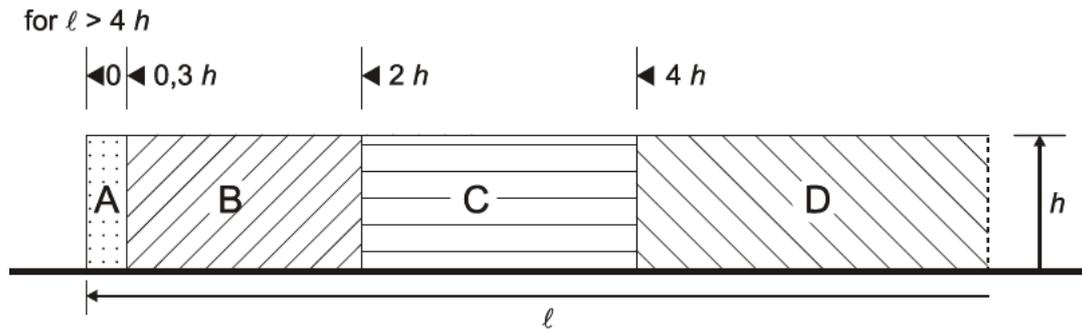
BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	14 di 34

Le azioni aerodinamiche dovute al traffico ferroviario verranno cumulate con quelle del vento.

Per la determinazione del coefficiente di forma c_p si fa riferimento a quanto riportato al § 7.4 dell'Eurocodice 1. Si assume di ricadere in zona D secondo il seguente schema e la relativa tabella associata:



Le barriere antirumore, sviluppandosi lungo i binari, avranno uno schema riconducibile alla zona D, visto che l'altezza massima (h) di queste risulta essere in ogni caso minore dello sviluppo planimetrico (l) (è sempre verificata la condizione $l > 4h$).

Per le barriere antirumore, che presentano una superficie solida continua senza aperture, ad eccezione degli accessi situati ogni 250 m, si considera un coefficiente di solidità unitario. Per una superficie riconducibile alla zona D, priva di angoli e con rapporto elevato di l/h , secondo la tabella 7.9 si ottiene un coefficiente di pressione netta $c_{p,net}$ pari a 1.2.

prospetto 7.9 Valori raccomandati dei coefficienti di pressione $c_{p,net}$ per pareti libere e parapetti

Solidità	Zona		A	B	C	D
$\varphi = 1$	Senza angoli di ritorno	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4	1,2
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7	1,2
$\varphi = 0,8$	Con angoli di ritorno di lunghezza $\geq h^a$		2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi = 0,8$			1,2	1,2	1,2	1,2

a) Per angoli di ritorno aventi lunghezza compresa tra 0,0 e h si può impiegare l'interpolazione lineare.

La pressione del vento risulta a questo punto:

$$p_v \text{ lato sud} = q_b \times c_e \times c_d \times c_p = 0.39 \times 1.783 \times 1.0 \times 1.2 = 0.837 \text{ kN/m}^2$$

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	15 di 34

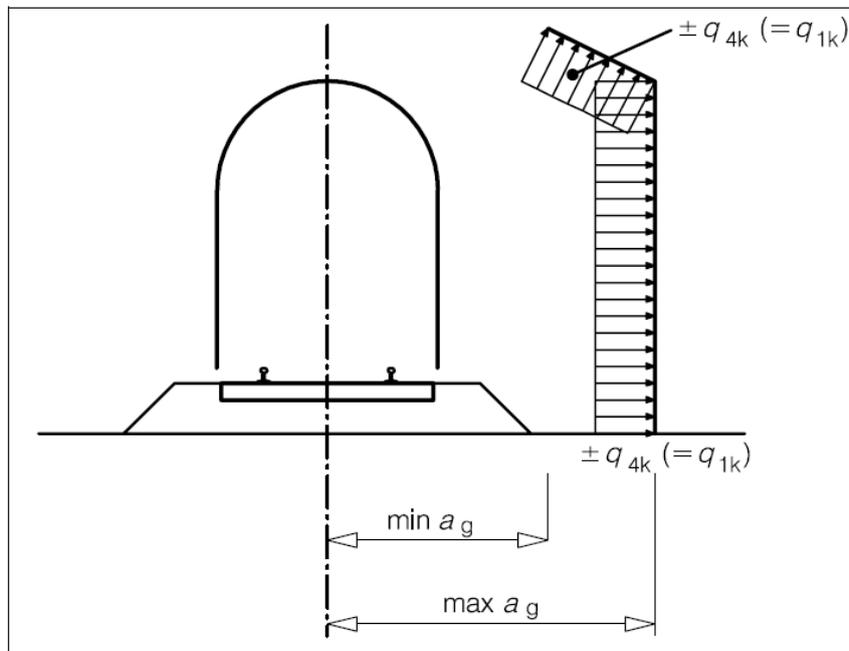
4.1.3 Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

Si considerano inoltre gli effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari secondo quanto contenuto nel D.M.2008 paragrafo 5.2.2.7 e quanto previsto nella “Specificazione per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario” (RFI DTC INC PO SP IFS 001 C). Si fa riferimento al caso di superfici multiple del binario sia verticali che orizzontali o inclinate (§5.2.2.6 NTC2018).

Il valore $\pm q_{4k}$ agente ortogonalmente alla superficie della barriera, viene valutato adottando una distanza fittizia a_g' dal binario:

$$a_g' = 0.6 a_{g,\min} + 0.4 a_{g,\max}$$

dove le distanze $a_{g,\min}$ e $a_{g,\max}$ sono state determinate in base al grafico sottostante:



Si considerano le seguenti condizioni di base:

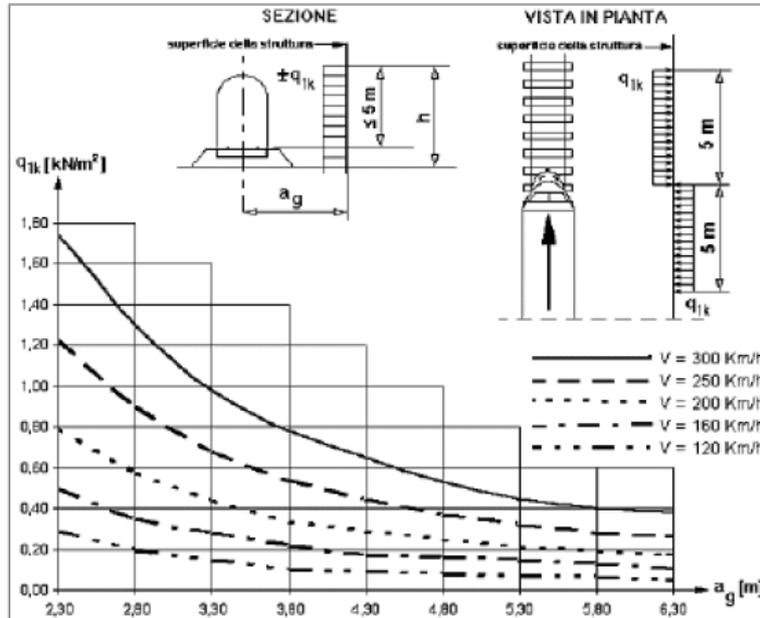
- velocità massima del convoglio ferroviario: $V_{\max}=150$ km/h (Rango C)
- $a_g' \sim 3.50$ m

A tale valore di a_g' corrisponde il valore dell’azione q_{1k} prodotta dal passaggio del convoglio, calcolata secondo quanto riportato nelle norme e con riferimento a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli, a favore di sicurezza:

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	16 di 34



Si assume $q_{1k} = 0.30 \text{ kN/m}^2$.

Tale azione deve essere cumulata con l'azione del vento in direzione perpendicolare all'asse del binario, tenendo conto che il D.M.2008 al paragrafo 5.2.3.3.2 afferma che in ogni caso l'azione risultante dalla somma dell'azione del vento con le azioni aerodinamiche deve essere maggiore di un valore minimo, funzione della velocità della linea e comunque di $1,5 \text{ kN/m}^2$ sia nelle verifiche agli SLE (combinazione caratteristica), che nella verifica agli SLU con $\gamma_Q=1,00$ e $\gamma_{Q_i}=1,00$. Secondo il documento RFI DTC INC PO SP IFS 001 A, il valore minimo della combinazione del vento e dell'azione aerodinamica si assume pari a $1,5 \text{ kN/m}^2$ per linee percorse a velocità $V \leq 200 \text{ km/h}$.

Pertanto si calcola:

$$p_{\text{tot,SLU}} = p_v + q_{1k} = 0.837 + 0.30 = 1.137 \text{ kN/m}^2$$

Tale valore risulta minore di 1.5 kN/m^2 , viene quindi corretto il valore dell'azione del vento:

$$p_v = 1.50 - 0.30 = 1.20 \text{ kN/m}^2$$

Nella modellazione si considera a favore di sicurezza il valore di 1.5 kN/m^2 come carico variabile totale. Tale valore comprende il contributo di sollecitazione legato al vento e all'azione aerodinamica dovuta al passaggio dei convogli.

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	17 di 34

- Riassumendo:

I carichi che agiscono sul montante della barriera sono quelli relativi ai pannelli fonoassorbenti, all'azione del vento ed a quella aerodinamica:

<i>Carico</i>	<i>[kN]</i>
P mon	4.29
Pp	12.00
Vento	14.40
Aerod	3.60

dove:

- P mon: è il peso proprio del montante metallico;
- Pp: è il peso proprio dei pannelli fonoassorbenti in condizioni bagnate;
- Vento (+X): è l'azione del vento in direzione perpendicolare alla barriera nel caso di pressione, calcolata per le combinazioni SLU e per quelle SLE;
- Aerod: è l'azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario in direzione perpendicolare ed in condizione di pressione sulla barriera (che sarà combinato insieme alla condizione di carico Vento (+X));

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	18 di 34

VERIFICA DEI MONTANTI E DELLE PIASTRE DI BASE BARRIERA ML

Si riportano di seguito le verifiche relative al montante aventi sezione HEB 220.

A favore di sicurezza le verifiche saranno condotte considerando un acciaio tipo S235.

Carichi a base Montante			
	N	M	V
	kN	kNm	kN
pp	4.29	0.00	0.00
pann b	12.00	0.00	0.00
Vento	0.00	43.20	14.40
Aerod	0.00	10.80	3.60

- Combinazione 1 (STR): A1+M1+R1

Di seguito si riportano le combinazioni di carico considerate:

1) $1,35 \cdot G1 + 1.5 \text{ Vento} + 1.5 \text{ Aerod}$

2) $1,00 \cdot G1 + 1.5 \text{ Vento} + 1.5 \text{ Aerod}$

- Combinazione 1 (SLE):

1) $1,00 \cdot G1 + 1.00 \text{ Vento} + 1.00 \text{ Aerod}$

Di seguito si riportano le sollecitazioni calcolate per le diverse combinazioni di carico considerate:

Comb	1	2
N	21.99	16.29
M	81.00	81.00
V	27.00	27.00

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	19 di 34

4.2 Verifica a resistenza delle membrature

Si riportano le caratteristiche del montante in acciaio:

	designation	g (Kg/m)	h (mm)	b (mm)	tw (mm)	tf (mm)	r1 (mm)
	HE 140 B	33.7	140	140	7.00	12.00	12.00
	HE 160 B	42.6	160	160	8.00	13.00	15.00
	HE 180 B	51.2	180	180	8.50	14.00	15.00
	HE 200 B	61.3	200	200	9.00	15.00	18.00
▶	HE 220 B	71.5	220	220	9.50	16.00	18.00
	HE 240 B	83.2	240	240	10.00	17.00	21.00
	HE 260 B	93.0	260	260	10.00	17.50	24.00

HE 220 B	$N_{by,Rd}$ [kN]	3'078	$M_{cy,Rd}$ [kNm]	279.6			
	$N_{bz,Rd}$ [kN]	3'078	$M_{cz,Rd}$ [kNm]	133.2			
	$V_{ply,Rd}$ [kN]	545.0	$V_{plz,Rd}$ [kN]	1'374			
g (Kg/m):	71.5						
h (mm):	220	r2 (mm):	0				
b (mm):	220	A (cm ²):	91.04	i_y (cm):	9.43	i_z (cm):	5.59
tw (mm):	9.5	I_y (cm ⁴):	8'091	I_z (cm ⁴):	2'843	I_T (cm ⁴):	76.57
tf (mm):	16	W_y (cm ³):	735.5	W_z (cm ³):	258.5	I_w (cm ⁶):	295'400
r1 (mm):	18	$W_{pl,y}$ (cm ³):	827	$W_{pl,z}$ (cm ³):	393.9		

Si effettua la verifica di resistenza delle membrature utilizzando la seguente formula:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{z,Ed}\sigma_{x,Ed} + 3\tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2$$

Si ottiene:

Comb	1	2	
σ_x	112.47	111.84	N/mm ²
τ	15.12	15.12	N/mm ²
verifica	115.48	114.87	223.81 N/mm ²

La verifica risulta soddisfatta.

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	20 di 34

Verifica a deformazione

Si determina lo spostamento massimo in testa al montante dovuto al carico massimo, in condizioni di esercizio:

$$f = \text{Freccia massima} = \frac{pl^4}{8 E I}$$

$$p = (14.40 + 3.60) \text{ [kN]} / 6 \text{ [m]} = 3 \text{ [kN/m]}$$

$$l = 6 \text{ [m]}$$

$$E = 210000000 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$I = 8.091 \times 10^{-05}$$

$$f = 2.9 \text{ [cm]} < L/150 = 4.00 \text{ [cm]}$$

Lo spostamento massimo della membratura risulta essere contenuto al di sotto di h/150 (4.00 cm). Pertanto, la deformazione della membratura si ritiene compatibile con l'esercizio dell'opera.

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	21 di 34

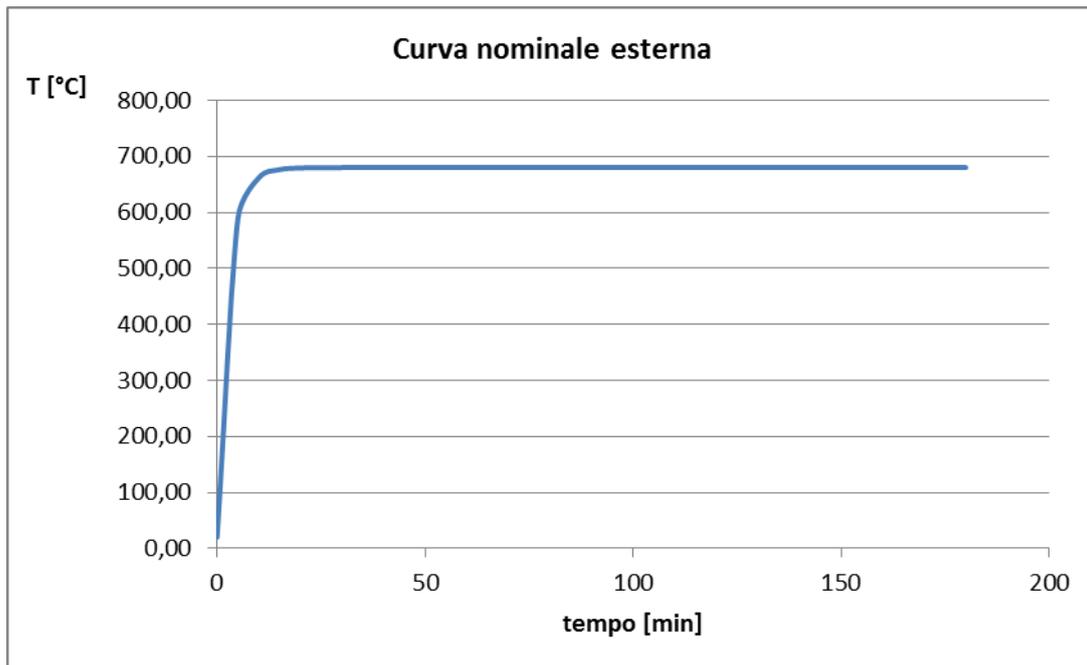
4.3 Verifiche di resistenza al fuoco

Si conducono le verifiche di resistenza al fuoco controllando che la temperatura critica per cui si ha il collasso del montante sia raggiunta in un intervallo di tempo non inferiore ai 30 minuti prescritti dal Disciplinare Tecnico RFI per le barriere antirumore.

In particolare, il montante viene verificato nella sezioni più sfavorevole, cioè in corrispondenza della sezione di base, nella quale si hanno le seguenti caratteristiche geometriche:

Le verifiche al fuoco vengono condotte in conformità alla norma UNI 9503/2007, utilizzando la curva di incendio nominale esterna definita in NTC2018, § 3.6.1.5.1:

$$\theta_g = 660(1 - 0.687 \cdot e^{-0.32t} - 0.313 \cdot e^{-3.8t}) + 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$



Nel caso delle barriere antirumore si ha, quindi, una temperatura massima di :

$$\theta (t = 30\text{min}) = 680\text{[}^\circ\text{C]}$$

La verifica da eseguire consiste nel determinare quanto tempo impiega la sezione a raggiungere la temperatura critica, ovvero la temperatura alla quale il materiale non è più in grado di sopportare il carico di progetto.

La T_{cr} viene determinata come:

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	22 di 34

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{I}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - I \right] + 482$$

Dove:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

$E_{fi,d}$ = effetto dell'azione a temperatura ordinaria [MPa]

$R_{fi,d,0}$ = resistenza di progetto del materiale per l'istante iniziale = 223.81 MPa

Il calcolo di $R_{fi,d,0}$ e $E_{fi,d}$ verrà svolto, a favore di sicurezza, considerando il W elastico della sezione, anche in virtù della labilità della struttura (mensola incastrata alla base, isostatica) in caso di formazione di cerniera plastica.

Secondo quanto previsto al paragrafo 1.5.4.3.7 del manuale di progettazione (**RFI DTC SI AG MA IFS 001 A**), la pressione aerodinamica del treno può essere assunta con un valore minimo pari a 1.00 kN/m².

Azione di progetto:

$$M = ph \times i \times H^2 / 2 = 1.0 \text{ kN/mq} \times 2 \text{ m} \times (6 \text{ m})^2 / 2 = 36 \text{ kNm}$$

Stato tensionale

$$Ed = M / W_x + N / A = 50.70 \text{ MPa}$$

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} = 50.70 / 223.81 = 0.22$$

Temperatura critica

$$\Theta_{s,cr} = 706 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tempo di raggiungimento $\Theta_{cr} = 680 \text{ }^\circ\text{C}$: MAI

Pertanto, la verifica al fuoco è soddisfatta.

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	23 di 34

4.4 Verifica a fatica del montante

La verifica a fatica è condotta secondo le prescrizioni del manuale **RFI DTC SI PS MA IFS 001 A**, ossia deve risultare soddisfatta la seguente relazione:

$$\Delta\sigma_1 < \Delta\sigma_{D1} / \gamma_m$$

$\Delta\sigma$ = variazione di tensione prodotta dalle azioni derivanti dalle pressioni aerodinamiche associate al transito dei convogli ferroviari. La sezione considerata per la verifica è quella di base (profilo HEB160), dove si hanno le maggiori sollecitazioni.

Il limite di fatica $\Delta\sigma_{D1}$, è stato calcolato considerando cautelativamente la curva SN63 prescritta dai particolari strutturali sollecitati a trazione o compressione.

$$\Delta\sigma_{D1} = 0.737 \Delta\sigma_C$$

Il quale risulta essere pari a 46.43 MPa, il quale dovrà essere ridotto del relativo coefficiente di sicurezza

$$\gamma_m = 1.35$$

L'unica azione di progetto da considerare per questa verifica è il carico di vento del solo convoglio, pari a: $q_{conv} = 0.30 \text{ kN/m}^2$ per la barriera considerata.

Azione di progetto:

$$M = q_{conv} \times i \times H^2 / 2 = 0.30 \text{ kN/mq} \times 2 \text{ m} \times (6.00\text{m})^2 / 2 = 10.80 \text{ kNm}$$

Stato tensionale in esercizio di compressione

$$Ed = M / W_x = 10.80 \times 10^6 / 736000 \text{ mm}^3 = 14.67 \text{ MPa}$$

Stato tensionale in esercizio di trazione

$$Ed = - M / W_x = -14.67$$

Stato tensionale in esercizio

$$\Delta\sigma = 14.67 \times 2 = 29.35 \text{ MPa} < 34.39 \text{ MPa}$$

Pertanto, la verifica a fatica del montante è soddisfatta.

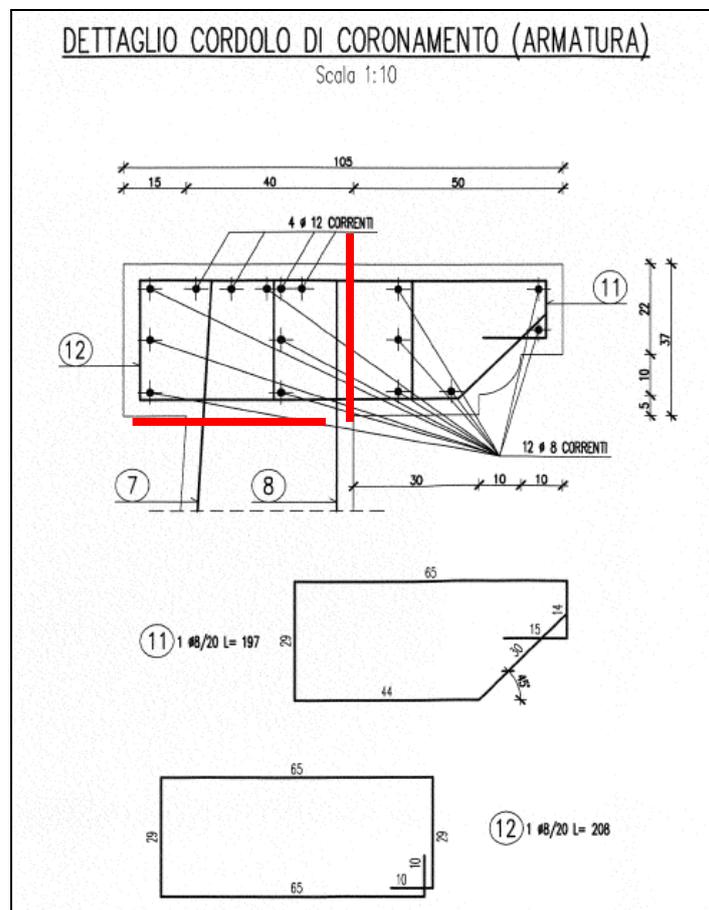
BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	24 di 34

4.5 Verifica cordolo di testa del muro esistente

Nel tratto ferroviario in cui sarà realizzata la barriera antirumore ML-H5 ancorata al muro esistente, si prevede la demolizione e ricostruzione del cordolo di testa; le carpenterie rimarranno le medesime, mentre per le armature è previsto il ripristino per quelle verticali del paramento e l'integrazione con nuove armature per il cordolo ricostruito. Di seguito, si riporta uno stralcio delle armature presenti e l'indicazione delle sezioni di verifica.



Dettaglio armature del cordolo di testa del muro esistente e sezione di verifica

Considerando una ripartizione a 45° delle sollecitazioni provenienti dai montanti della barriera, si considera una lunghezza collaborante di circa 1.00 m.

I carichi che agiscono sul montante della barriera sono quelli relativi ai pannelli fonoassorbenti, all'azione del vento ed a quella aerodinamica:

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	25 di 34

Comb	1	2
N	21.99	16.29
M	81.00	81.00
V	27.00	27.00

Considerando l'eccentricità del montante rispetto al paramento del muro, si ottengono le seguenti sollecitazioni sulla sezione di verifica in testa cordolo: entrambe le sezioni i risultano verificate.

- Sezione verticale: Armatura integrativa = Φ 16/20

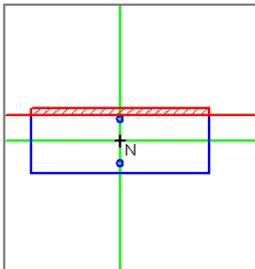
$$N = 27.00 \text{ kN}; \quad V = 21.99 \text{ kN}; \quad M_x = 81.00 \text{ kNm} + 21.99 \text{ kN} \times 0.20 \text{ m} + 27.00 \text{ kN} \times 0.37/2 \text{ m} = 90.4 \text{ kNm}$$

Con 0.20 = braccio della forza vericale N alla base del montante rispetto alla sezione di verifica.

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	37

N*	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	6
2	10.05	31

Rettagoli Coord.



Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} -27 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

FeB44k: ϵ_{su} 67.5‰, f_{yd} 373.9 N/mm², E_s 200000 N/mm², E_s/E_c 15, ϵ_{syd} 1.87‰, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²

C 32/40: ϵ_{c2} 2‰, ϵ_{cu} 3.5‰, f_{cd} 18.13, f_{cc}/f_{cd} 0.8, $\sigma_{c,adm}$ 12.25, τ_{co} 0.7333, τ_{cl} 2.114

M_{xRd} 117.1 kNm

σ_c -18.13 N/mm²
 σ_s 373.9 N/mm²
 ϵ_c 3.5‰
 ϵ_s 21.81‰

d 31 cm
x 4.287 x/d 0.1383
 δ 0.7

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N* rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

- Sezione orizzontale

$$N = 22.00 \text{ kN}; \quad V = 27.00 \text{ kN}; \quad M_x = 81.00 \text{ kNm} + 21.99 \text{ kN} \times (0.40/2 + 0.2) \text{ m} + 27.00 \times 0.37 = 100 \text{ kNm}$$

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	26 di 34

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	6
2	10.05	31

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN

M_{xEd} kNm

M_{yEd}

P.to applicazione N

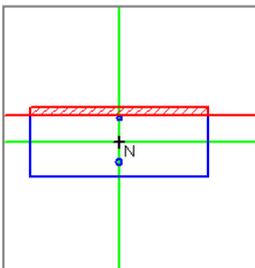
Centro Baricentro cls

Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Rettangoli Coord.



Materiali

FeB44k **C20/25**

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰

f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰

E_s N/mm² f_{cd} ‰

E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} [?]

ε_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰

σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} ‰

τ_{c1} ‰

M_{xRd} kNm

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ε_c ‰

ε_s ‰

d cm

x x/d

δ

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

Precompresso

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	27 di 34

Si effettua la verifica a taglio della sezione di altezza minore:

Caratteristiche materiali

Cls R_{ck}

Cls condizioni calcestruzzo

Acciaio 1 acciaio barre longitudinali

Acciaio 2 acciaio armature trasversali

γ_c coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ_s coefficiente parziale relativo all'acciaio

Geometrie sezione

b_w mm larghezza dell'anima anima resistente (larghezza minima d'anima)

d mm altezza utile della sezione

A_c mm² area della sezione di calcestruzzo

Caratteristiche armature

n_{bl} numero di barre longitudinali

\varnothing_{bl} mm diametro delle barre longitudinali

n_{bw} numero di bracci delle staffe

\varnothing_{st} mm diametro delle staffe

s_{st} mm passo delle staffe

α ° inclinazione delle staffe ($\alpha=90^\circ$ per staffe ortogonali all'asse)

Valore di verifica del taglio resistente

V_{Rd} KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	29 di 34

Coefficienti di sicurezza utilizzati

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\gamma_{M1} = 1.10$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Colonna

Tipo di profilo: HEB 220

Materiale: Acciaio S235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_t = 360 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{Rd} = 1.2$

Classe sezione: 1

Flangia:

Materiale: Acciaio S235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_t = 360 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{Rd} = 1.2$

Dimensioni (B x H x Sp): 400.0 x 400.0 x 35.0 mm

Bullonature:

Viti cl. 8.8 Dadi 8 ($f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$, $f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$)

Diametro $\varnothing = 20 \text{ mm}$ $A_{res} = 245.0 \text{ mm}^2$ (ridotta per filettatura)

Diametro foro $\varnothing_0 = 21 \text{ mm}$

Saldature:

Materiale: Acciaio S235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_t = 360 \text{ N/mm}^2$ $\beta_1 = 0.85$ $\beta_2 = 1.00$

Spessore cordoni d'angolo $s_c = 8 \text{ mm}$

Sollecitazioni:

Nodo.CMB	V2 [N]	V3 [N]	N [N]	M2 [N mm]	M3 [N mm]	T [N mm]
1.1	27000.0	0.0	-21000.0	0.0	81000000.0	0.0

Calcolo resistenze

Resistenza a trazione dei bulloni

$$F_{tb,Rd} = 0.9 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 141145.5 \text{ N}$$

Resistenza a punzonamento flangia

$$B_{pf,Rd} = 0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_f \cdot f_{tk} / \gamma_{M2} = 570010.6 \text{ N}$$

Bull.	$F_{f,Rd}$ [N]	$F_{t,Rd}$ [N]
1	153831.9	141145.5
2	153831.9	141145.5
3	110851.3	110851.3
4	110851.3	110851.3
5	84619.3	84619.3
6	84619.3	84619.3
7	84619.3	84619.3
8	84619.3	84619.3
9	110851.3	110851.3
10	110851.3	110851.3
11	153831.9	141145.5
12	153831.9	141145.5

Legenda

$F_{f,Rd} = M_{res,m} / (B_m \cdot R_m)$ resistenza a flessione flangia

$F_{t,Rd} = \min [F_{tb,Rd} , B_{pf,Rd} , F_{f,Rd}]$ resistenza a trazione di progetto

Resistenza a taglio dei bulloni

$$F_{vb,Rd} = 0.6 \cdot f_{tb} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 94097.0 \text{ N}$$

Bull.	$F_{bf,x,Rd}$ [N]	$F_{v,x,Rd}$ [N]	$F_{bf,y,Rd}$ [N]	$F_{v,y,Rd}$ [N]
1	212480.0	94097.0	201600.0	94097.0
2	212480.0	94097.0	201600.0	94097.0
3	181936.0	94097.0	131712.0	94097.0

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	30 di 34

4	181936.0	94097.0	131712.0	94097.0
5	235056.0	94097.0	185472.0	94097.0
6	235056.0	94097.0	185472.0	94097.0
7	235056.0	94097.0	185472.0	94097.0
8	235056.0	94097.0	185472.0	94097.0
9	181936.0	94097.0	131712.0	94097.0
10	181936.0	94097.0	131712.0	94097.0
11	212480.0	94097.0	201600.0	94097.0
12	212480.0	94097.0	201600.0	94097.0

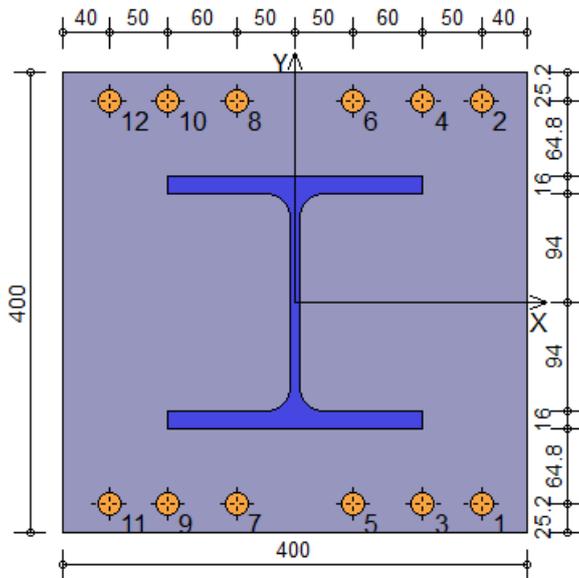
Legenda

$F_{bf,x,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot \Sigma \cdot t_f / \gamma_{M2}$ resistenza a rifollamento flangia in direzione x

$F_{v,x,Rd} = \min [F_{vb,Rd} , F_{bf,x,Rd}]$ resistenza a taglio di progetto in direzione x

$F_{bf,y,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot \Sigma \cdot t_f / \gamma_{M2}$ resistenza a rifollamento flangia in direzione y

$F_{v,y,Rd} = \min [F_{vb,Rd} , F_{bf,y,Rd}]$ resistenza a taglio di progetto in direzione y



Verifiche sui bulloni

1-Taglio e trazione (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Bull.	X [mm]	Y [mm]	$F_{v,Ed}$ [N]	$F_{v,Rd}$ [N]	$F_{t,Ed}$ [N]	$F_{t,Rd}$ [N]	FV_1	VER
1	160.00	-174.80	2250.0	94097.0	40673.9	141145.5	0.229747	Ok
2	160.00	174.80	2250.0	94097.0	0.0	141145.5	0.023912	Ok
3	110.00	-174.80	2250.0	94097.0	40673.9	110851.3	0.285999	Ok
4	110.00	174.80	2250.0	94097.0	0.0	110851.3	0.023912	Ok
5	50.00	-174.80	2250.0	94097.0	40673.9	84619.3	0.367246	Ok
6	50.00	174.80	2250.0	94097.0	0.0	84619.3	0.023912	Ok
7	-50.00	-174.80	2250.0	94097.0	40673.9	84619.3	0.367246	Ok
8	-50.00	174.80	2250.0	94097.0	0.0	84619.3	0.023912	Ok
9	-110.00	-174.80	2250.0	94097.0	40673.9	110851.3	0.285999	Ok
10	-110.00	174.80	2250.0	94097.0	0.0	110851.3	0.023912	Ok
11	-160.00	-174.80	2250.0	94097.0	40673.9	141145.5	0.229747	Ok
12	-160.00	174.80	2250.0	94097.0	0.0	141145.5	0.023912	Ok

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	31 di 34

2-Trazione (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Bull.	X [mm]	Y [mm]	F _{t,Ed} [N]	F _{t,Rd} [N]	FV ₂	VER
1	160.00	-174.80	40673.9	141145.5	0.288170	Ok
2	160.00	174.80	0.0	141145.5	0.000000	Ok
3	110.00	-174.80	40673.9	110851.3	0.366923	Ok
4	110.00	174.80	0.0	110851.3	0.000000	Ok
5	50.00	-174.80	40673.9	84619.3	0.480669	Ok
6	50.00	174.80	0.0	84619.3	0.000000	Ok
7	-50.00	-174.80	40673.9	84619.3	0.480669	Ok
8	-50.00	174.80	0.0	84619.3	0.000000	Ok
9	-110.00	-174.80	40673.9	110851.3	0.366923	Ok
10	-110.00	174.80	0.0	110851.3	0.000000	Ok
11	-160.00	-174.80	40673.9	141145.5	0.288170	Ok
12	-160.00	174.80	0.0	141145.5	0.000000	Ok

Legenda

F_{v,Ed} forza di taglio agente sul bullone
 F_{v,Rd} resistenza a taglio di progetto del bullone
 F_{t,Ed} forza di trazione agente sul bullone
 F_{t,Rd} resistenza a trazione di progetto del bullone
 $FV_1 = F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1.4 \cdot F_{t,Rd})$
 $FV_2 = F_{t,Ed} / F_{t,Rd}$
 VER → FV_i ≤ 1

Verifiche sulle saldature profilo-flangia (versione beta)

Si considera la sezione di gola (avente altezza $a = s_c / 2^{0.5} = 5.657$) in posizione ribaltata: vengono considerate positive le tensioni normali di trazione e le tensioni tangenziali agenti verso destra e verso il basso. Tutte le tensioni sono espresse in N/mm².

Verifica formula (4.2.78) (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Cordoni	n _⊥	t _⊥	τ _∥	FV ₁	VER ₁
Ala inferiore esterno	174.34	0.00	0.00	174.34	Ok
Ala inferiore interno lato destro	140.23	0.00	0.00	140.23	Ok
Ala inferiore interno lato sinistro	140.23	0.00	0.00	140.23	Ok
Anima lato destro	-123.12	0.00	15.70	124.12	Ok
Anima lato sinistro	-123.12	0.00	15.70	124.12	Ok
Ala superiore interno lato destro	-147.02	0.00	0.00	147.02	Ok
Ala superiore interno lato sinistro	-147.02	0.00	0.00	147.02	Ok
Ala superiore esterno	-181.13	0.00	0.00	181.13	Ok

Verifica formula (4.2.79) (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Cordoni	n _⊥	t _⊥	τ _∥	FV ₂	VER ₂
Ala inferiore esterno	174.34	0.00	0.00	174.34	Ok
Ala inferiore interno lato destro	140.23	0.00	0.00	140.23	Ok
Ala inferiore interno lato sinistro	140.23	0.00	0.00	140.23	Ok
Anima lato destro	-123.12	0.00	15.70	123.12	Ok
Anima lato sinistro	-123.12	0.00	15.70	123.12	Ok
Ala superiore interno lato destro	-147.02	0.00	0.00	147.02	Ok
Ala superiore interno lato sinistro	-147.02	0.00	0.00	147.02	Ok
Ala superiore esterno	-181.13	0.00	0.00	181.13	Ok

Legenda

n_⊥ tensione normale perpendicolare all'asse del cordone
 t_⊥ tensione tangenziale perpendicolare all'asse del cordone
 τ_∥ tensione tangenziale parallela all'asse del cordone
 $FV_1 = (n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)^{0.5}$

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	32 di 34

$$FV_2 = |n_{\perp}| + |t_{\perp}|$$

$$VER_i \rightarrow FV_i \leq \beta_i \cdot f_{yk} \quad (\beta_1 \cdot f_{yk} = 199.75 \text{ N/mm}^2 \quad \beta_2 \cdot f_{yk} = 235.00 \text{ N/mm}^2)$$

Verifiche a flessione piastra in zona compressa

Sezione parallela a X a filo della colonna (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Pressione media a bordo piastra	$\rho_{med} = 8.48 \text{ N/mm}^2$
Carico lineare sbalzo	$q_{lin} = 3390.34 \text{ N/mm}$
Lunghezza sbalzo	$L_s = 90.0 \text{ mm}$
Modulo di resistenza minimo	$W_{min} = 81666.7 \text{ mm}^3$
Momento resistente	$M_{p,Rd} = 18277780.0 \text{ N mm}$
Momento massimo	$M_{p,Ed} = 13730880.0 \text{ N mm}$
$M_{p,Ed} / M_{p,Rd} = 0.751234 \text{ Ok}$	

Sezione parallela a Y a filo della colonna (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Pressione media a bordo piastra	$\rho_{med} = 4.24 \text{ N/mm}^2$
Carico lineare sbalzo	$q_{lin} = 1695.17 \text{ N/mm}$
Lunghezza sbalzo	$L_s = 90.0 \text{ mm}$
Modulo di resistenza minimo	$W_{min} = 81666.7 \text{ mm}^3$
Momento resistente	$M_{p,Rd} = 18277780.0 \text{ N mm}$
Momento massimo	$M_{p,Ed} = 6865441.0 \text{ N mm}$
$M_{p,Ed} / M_{p,Rd} = 0.375617 \text{ Ok}$	

Verifica del momento di progetto del giunto (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Momento resistente del giunto	$M_{j,Rd} = 197605900.0 \text{ N mm}$
Momento di progetto	$M_{j,Ed} = 81000000.0 \text{ N mm}$
$M_{j,Ed} / M_{j,Rd} = 0.409907 \text{ Ok}$	

Ancoraggio

Tirafondi ad aderenza

Lunghezza tirafondi $L_t = 300 \text{ mm}$

Lunghezza minima tirafondi: 40 diametri (800 mm)

Calcestruzzo

Resistenza cubica caratteristica a compressione	$R_{ck} = 25.00 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 20.75 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_C = 11.76 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 0.7 \cdot 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 1.59 \text{ N/mm}^2$
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta \cdot f_{ctk} / \gamma_C = 2.38 \text{ N/mm}^2$

Compressione massima calcestruzzo (Nodo n. 1, CMB n. 1)

$$\rho_{max} = 8.48 \text{ N/mm}^2 < f_{cd} \text{ Ok}$$

Verifica ancoraggio

Si considera la massima sollecitazione di trazione agente nei tirafondi (Nodo n. 1, CMB n. 1)

Trazione di progetto dell'ancoraggio	$F_{t,an,Ed} = \max [F_{t,Ed}] = 40673.9 \text{ N}$
Resistenza a trazione per aderenza	$F_{t,ad,Rd} = L_t \cdot \pi \cdot \emptyset \cdot f_{bd} = 44835.7 \text{ N}$
$F_{t,ad,Rd} > F_{t,an,Ed} \text{ Ok}$	

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	33 di 34

4.6.1 Verifica a fatica dei tirafondi

Non considerando il serraggio dei tirafondi si effettua la verifica a fatica degli stessi secondo quanto riportato nelle istruzioni **RFI DTC SI PS MA IFS 001 C**.

La variazione di tensione ammissibile risulta pari a:

$$\Delta\sigma < \Delta\sigma_D / \gamma_m = 27.30 \text{ MPa}$$

$\Delta\sigma$ = variazione di tensione prodotta dalle azioni derivanti dalle pressioni aerodinamiche associate al transito dei convogli ferroviari

$$\Delta\sigma_D = 0.737 * 50 = 36.85 \text{ MPa (classe di dettaglio 50 – Bulloni e barre filettate soggetti a trazione)}$$

$$\gamma_m = 1.35$$

La verifica a fatica dei ferri di ancoraggio è svolta in analogia alle sezioni in cemento armato.

L'unica azione di progetto da considerare (oltre al peso proprio) per questa verifica è il carico di vento del solo convoglio, pari a: $q_{conv} = 0.30 \text{ kN/m}^2$ per la barriera considerata

Azione di progetto:

$$M = q_{conv} \times i \times H^2 / 2 = 10.80 \text{ kNm}$$

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	40	40	1	18.85	37.5

Sollecitazioni		Metodo n	
S.L.U.	→	←	
N _{Ed}	0	0	kN
M _{xEd}	0	10.8	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N	
<input checked="" type="radio"/> Centro	<input type="radio"/> Baricentro cls
<input type="radio"/> Coord.[cm]	xN 0 yN 0

Metodo di calcolo	
<input type="radio"/> S.L.U. +	<input type="radio"/> S.L.U. -
<input checked="" type="radio"/> Metodo n	

Materiali	
Tasselli M2	C20/25
ϵ_{su} 67.5 %	ϵ_{c2} 2 %
f_{yd} 640 N/mm²	ϵ_{cu} 3.5 %
E_s 200'000 N/mm²	f_{cd} 11.33
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0.8
ϵ_{syd} 3.2 %	$C_{c,adm}$ 8.5
$C_{s,adm}$ 373 N/mm²	τ_{co} 0.5333
	τ_{c1} 1.686

σ_c	-0.997	N/mm²
σ_s	18	N/mm²
ϵ_s	0.09001	%
d	37.5	cm
x	17.02	x/d 0.4538
δ	1	

Verifica

N° iterazioni: 4

Precompresso

$$\Delta\sigma = 18 \text{ N/mm}^2$$

La verifica risulta soddisfatta.



**PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO – BERGAMO – MONTELLO
LOTTO 9
BARRIERE ANTIRUMORE**

BA 03 P

RELAZIONE DI CALCOLO BARRIERA ML H=5 m sopra
PF

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09	D 26 CL	RI0005 004	A	34 di 34