

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. ARCHITETTURA, AMBIENTE E TERRITORIO

OPERE DI RISANAMENTO ACUSTICO - 1° FASE DI ATTUAZIONE DEL PIANO REDATTO AI SENSI DEL D.M. AMBIENTE 29/11/2000

PROGETTO DEFINITIVO

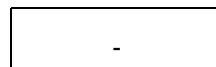
COMUNE DI CASCINA

CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031

BARRIERE ANTIRUMORE

Relazione di calcolo BA metallica leggera

SCALA:



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

D 1 4 Z 0 2 D 2 2 C L I F 0 1 0 0 0 0 4 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRA	Agosto 2018	M. Pirkus	Agosto 2018	R. Sciacca	Agosto 2018	D. Ludovici Agosto 2018

ITALFERR S.p.A.
Dott. Ing. Donato Ludovici
Ordine degli Ingegneri di Roma
n. 416319

File: : D14Z02D22CLIF0100004A

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 2 di 83

INDICE

1.	PREMESSA	5
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
3.1	NORMATIVA E ISTRUZIONI	7
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA	8
4.1	CARATTERISTICHE DELLA FALDA.....	9
4.2	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PER TRATTI.....	9
4.3	RISULTATI PROVE MASW	10
5.	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	11
5.1	CALCESTRUZZO	11
5.1.1	<i>Magrone</i>	11
5.1.2	<i>Calcestruzzo per opere in calcestruzzo armato portante</i>	11
5.1.3	<i>Micropali di fondazione C20/25</i>	13
5.2	ACCIAIO.....	14
5.2.1	<i>Acciaio per cemento armato</i>	14
5.2.2	<i>Acciaio da carpenteria metallica</i>	14
6.	ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO	15
6.1	PESI PROPRI	15
6.1.1	<i>ML 7</i>	15
6.1.2	<i>ML 10</i>	15
6.2	CARICHI VARIABILI	17
6.2.1	<i>Carico del vento</i>	17
	<i>BARRIERA ML 7:</i>	19
	<i>BARRIERA ML10:</i>	20
6.2.2	<i>Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario</i>	21
	<i>BARRIERA ML 7:</i>	22
	<i>BARRIERA ML 10:</i>	22

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	3 di 83

6.3	AZIONE SISMICA	23
6.3.1	Vita nominale	23
6.3.2	Classe d'uso	24
6.3.3	Periodo di riferimento	25
6.3.4	Valutazione dei parametri di pericolosità sismica	25
6.3.5	Caratterizzazione sismica del terreno	26
	Categorie di Sottosuolo	26
	Condizioni topografiche.....	27
	Amplificazione Stratigrafica e Topografica.....	27
	Parametri sismici di calcolo	28
	Calcolo forza sismica alla base	32
7.	COMBINAZIONI DI CARICO	34
7.1	COMBINAZIONI STATICHE	38
7.2	COMBINAZIONI SISMICHE	38
8.	VERIFICA DEL MURO IN CALCESTRUZZO	39
8.1	SOLLECITAZIONI DI VERIFICA	40
8.1.1	Barriera ML 7	40
8.1.2	Barriera ML 10	42
8.2	VERIFICA ALLO STATO LIMITE ULTIMO	44
8.2.1	Barriera ML 7	44
	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE	44
	VERIFICA A TAGLIO	46
8.2.2	Barriera ML 10	47
	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE	47
	VERIFICA A TAGLIO	50
8.3	VERIFICA ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO	51
8.3.1	Barriera ML 7	54
	Stato limite di formazione delle fessure	54
	Verifica delle tensioni di esercizio	54
8.3.1	Barriera ML 10	55
	Stato limite di formazione delle fessure	55
	Verifica delle tensioni di esercizio	56

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	4 di 83

9.	VERIFICA STRUTTURALE E A FATICA DEL MONTANTE IN ACCIAIO E DEI COLLEGAMENTI	57
9.1	ANALISI DEI CARICHI	58
9.1.1	Barriera ML 7	58
9.1.2	Barriera ML 10	60
9.1.3	Combinazioni.....	61
	Barriera ML 7.....	62
	Barriera ML 10.....	63
9.2	VERIFICA MONTANTE HEB 240 BARRIERA ML7.....	64
9.2.1	Verifica di resistenza	64
9.2.2	Verifica a fatica base montante in acciaio	65
9.3	VERIFICA MONTANTE HEB 240 BARRIERA ML10.....	66
9.3.1	Verifica di resistenza	66
9.3.2	Verifica a fatica base montante in acciaio	67
9.4	VERIFICA NODO DI BASE BARRIERA ML 7	68
9.4.1	Verifica del calcestruzzo.....	69
9.4.2	Verifica dei tirafondi soggetti a trazione e taglio.....	69
9.4.3	Verifica a fatica dei tirafondi	72
9.4.4	Verifica della piastra di base.....	74
9.5	VERIFICA NODO DI BASE BARRIERA ML 10	76
9.5.1	Verifica del calcestruzzo.....	77
9.5.2	Verifica dei tirafondi soggetti a trazione e taglio.....	77
9.5.3	Verifica a fatica dei tirafondi	80
9.5.4	Verifica della piastra di base.....	82

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 5 di 83

1. PREMESSA

Nella presente relazione si le strutture in elevazione delle barriere antirumore tipo metallica leggera **H7 e H10** e relativi muro di sostegno, relativamente all'intervento di risanamento acustico della Regione Toscana, nel comune di Cascina.

Di seguito si illustrano le assunzioni strutturali di progetto prese a base di calcolo, la normativa di riferimento, i materiali utilizzati, la caratterizzazione geotecnica prevista, i carichi di progetto e le relative condizioni e combinazioni, lo schema strutturale adottato e le verifiche effettuate.

Le azioni applicate alla struttura seguono i criteri generali riportati nel D.M. 17/01/2008, "*Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*" e le relative specifiche ferroviarie (cfr par. 3.1.2)

azioni permanenti (pesi propri, permanenti, etc.);

azioni sismiche;

azioni variabili da traffico ferroviario, ambientali, etc...

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La presente relazione di calcolo ha per oggetto l'analisi e le verifiche della elevazione delle barriere antirumore su rilevato tipo metallica leggera **ML7 e ML10**.

ML 7

Le barriere sono costituite da un montante HEB240, posto ad un interasse di 2m, vincolato tramite tirafondi a un muro in calcestruzzo di dimensioni pari a 2.5mx0.5m.

ML 10

Le barriere sono costituite da un montante HEB240, posto ad un interasse di 2m, vincolato tramite tirafondi a un muro in calcestruzzo di dimensioni pari a 2.5mx0.5m.

Per ulteriori indicazioni si rimanda agli elaborati progettuali. Si riporta di seguito la sezione tipo di tali barriere.

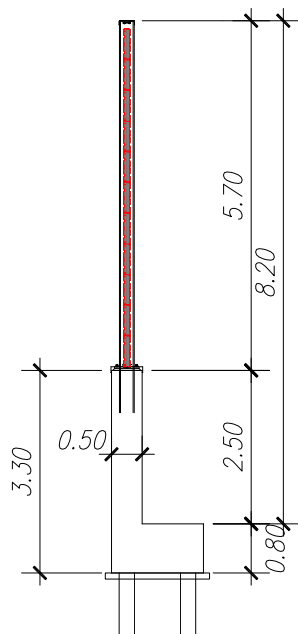


Figura 1: Sezione tipo barriera antirumore ML7 su rilevato

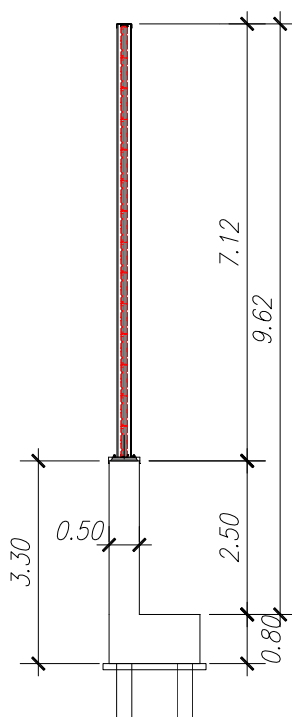


Figura 2: Sezione tipo barriera antirumore ML10 su rilevato

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 7 di 83

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Normativa e istruzioni

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

- *Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17.01.2008 (NTC-2008);*
- *Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;*
- *UNI EN 206-1/2006 – “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 SICS MA IFS 001 A del 29.12.2105;*
- *“CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI”–RFI DTC SICS SP IFS 001B*

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 8 di 83

4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

Nell'ambito degli interventi di risanamento acustico nella regione Toscana (Fase di Attuazione del Piano redatto ai sensi del D.M. Ambiente 29/11/2000), e nello specifico nel comune di Cascina si riportano i risultati della campagna di indagini condotte ai fini delle verifiche strutturali. Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica generale.



Figura 3: Ubicazione dell'area di intervento

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 9 di 83

4.1 Caratteristiche della falda

La falda si trova a una quota di 1,5 m di profondità.

4.2 Parametri geotecnici caratteristici per tratti

Si riportano le caratteristiche relative al terreno considerato ai fini della verifica:

$$\gamma = 17 \text{ kN/mc}$$

Unità	Profondità	c_u (kPa)	$\varphi'(^{\circ})$
[-]	[m]		
1	0-2	76	31
2	2-4.5	58	26
3	4.5-10	43	22
4	>10	15	19

Tabella 1: Caratterizzazione geotecnica delle singole unità

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 10 di 83

4.3 Risultati prove MASW

La determinazione del tipo di suolo, secondo normativa, può essere basata sulla stima dei valori della velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{s,30}$ entro i primi 30 metri di profondità ovvero sul numero medio di colpi $N_{SPT,30}$ ottenuti da prove penetrometriche dinamiche nei terreni ovvero sulla coesione non drenata media $c_{u,30}$.

L'analisi dell'assetto stratigrafico e dei valori di N_{spt} ha consentito di definire una categoria di sottosuolo come "D", ovvero "Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)".

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	11 di 83

5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

I materiali utilizzati nella realizzazione delle strutture in funzione della utilizzazione sono descritti in seguito.

5.1 Calcestruzzo

5.1.1 Magrone

Classe di resistenza C12/15;
 contenuto min. cemento 150 kg/m³.

5.1.2 Calcestruzzo per opere in calcestruzzo armato portante

Per le strutture di fondazione si impiega calcestruzzo di classe C28/35:

Tensioni di progetto del calcestruzzo allo S.L.U. secondo D.M. 2008

Classe di esposizione	XC4
Rapporto acqua/cemento max	0,50
Dose minima cemento	320 kg/m ³
Resistenza cubica caratteristica a compressione	35 MPa

Tabella 2: Caratteristiche del conglomerato di classe C28/35

Prendendo un calcestruzzo con $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ che appartiene alla classe C28/35 abbiamo:

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 0,83 \cdot 35 = 29,05 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza caratteristica a compressione;}$$

$$f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 29,05 \cdot 0,85 / 1,5 = 16,6 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza di calcolo a compressione del cls;}$$

La norma prevede che per classi di resistenza $\leq C50/60$ la formulazione della resistenza caratteristica a trazione del cls sia la seguente:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0,30 \cdot 29,05^{(2/3)} = 2,83 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza media a trazione del cls;}$$

$$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 0,7 \cdot 2,83 = 1,98 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza caratteristica a trazione del cls;}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,98 / 1,5 = 1,32 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza di calcolo a trazione del cls.}$$

La tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo è pari a:

$$f_{bk} = 2,25 \cdot \eta \cdot f_{ctk} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,98 = 4,45 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza caratteristica tangenziale di aderenza del cls;}$$

dove $\eta = 1,0$ per barre di diametro inferiore a 32 mm

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c; \text{ con } \gamma_c = 1,5$$

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	12 di 83

$$f_{bd} = 4,45/1,5 = 2,96 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Resistenza di calcolo di aderenza del cls.}$$

Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,55 \cdot f_{ck} \quad \text{per combinazione caratteristica (rara)} ;$$

$$\sigma_c < 0,40 \cdot f_{ck} \quad \text{per combinazione quasi permanente.}$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

Nel caso di combinazione rara:

$$\sigma_c < 0,55 \cdot f_{ck} = 0,55 \cdot 29,05 = 15,98 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{tensione massima di eserc. per il cls con comb. rara;}$$

Nel caso di combinazione quasi permanente:

$$\sigma_c < 0,40 \cdot f_{ck} = 0,40 \cdot 29,05 = 11,62 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{tensione massima di eserc. per il cls con comb. quasi perm.}$$

Modulo elastico del calcestruzzo

$$E_{cm} = 22.000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

dove

$$- \quad f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2\text{]} \rightarrow f_{cm} = 29,05 + 8 = 37,05 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Resistenza media cilindrica a compressione del cls;}$$

$$- \quad E_{cm} = 22.000 \cdot [37,05/10]^{0,3} = 32.588,10 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Modulo elastico del cls.}$$

Per le strutture in elevazione si impiega calcestruzzo di classe C32/40:

Resistenza cubica a compressione	$R_{ck} 40,0 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica a compressione	$f_{ck} 0,83 \cdot R_{ck} = 33,2 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 41,2 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli α_{cc} ($t > 28 \text{ gg}$)	$\alpha_{cc} = 0,85$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = (\alpha_{cc} \cdot f_{ck}) / \gamma_c = 18,8 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3} = 3,1 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica media a trazione	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 2,2 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1,4 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1,2 \cdot f_{ctm} = 3,7 \text{ N/mm}^2$
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	$f_{cfk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 2,2 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0,3} = 33643 \text{ N/mm}^2$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 13 di 83

5.1.3 Micropali di fondazione C20/25

Il materiale posto in opera è C25/30. A favore di sicurezza i calcoli sono stati effettuati considerando un calcestruzzo C20/25 con le seguenti caratteristiche:

Peso Specifico	$\gamma =$	25kN/m ³
Resistenza Cubica	$R_{ck} =$	25MPa
Resistenza Cilindrica	$f_{ck} =$	20.8MPa
Resistenza Cilindrica Media a compressione	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	28.8MPa
Modulo Elastico	$E = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} =$	30200MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 14 di 83

5.2 Acciaio

5.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

acciaio	B450C
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} = 391,30 \text{ N/mm}^2$;
modulo elastico	$E_s = 206.000 \text{ N/mm}^2$.

Tensioni di progetto dell'acciaio allo S.L.E.

Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. 11 del D.M.2008, la tensione massima, σ_s per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 0,75 \cdot 450 = 337,50 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{tensione massima di esercizio per l'acciaio.}$$

5.2.2 Acciaio da carpenteria metallica

Si prescrive l'utilizzo di profilati in acciaio laminati a caldo S355:

Tensione di snervamento	$f_{yk} \leq 355 \text{ N/mm}^2$;
Tensione di rottura	$f_{tk} \leq 510 \text{ N/mm}^2$;
Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$;
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$;
Modulo di elasticità trasversale	$G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23 \text{ N/m}^2$;
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (\text{per } T \text{ fino a } 100 \text{ } ^\circ\text{C})$;
Densità	$\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$.

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	15 di 83

6. ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

Per la valutazione dei carichi permanenti e variabili, questi saranno desunti dalla relazione delle barriere antirumore del tipologica di RFI, dopodiché per i carichi variabili si effettuerà la verifica puntuale che le azioni da considerare sui nostri pannelli prescritte dalla normativa vigente per il sito in esame risultino uguali o minore a quelle considerate per il calcolo tipologico, ove tale condizioni non risultino soddisfatte si procederà alle opportune modifiche ed integrazioni.

6.1 Pesì Propri

6.1.1 ML 7

PP HEB240	0.832 kN/m
PP PA	0.5 kN/m ²
PP PB	1 kN/m ²

Dove:

PP_{HEB240} = peso proprio del montante verticale;

PP_{PA} = peso pannelli asciutti;

PP_{PB} = peso pannelli bagnati.

Riferendosi all'interasse di 2m tra i montanti verticali della barriera ed all'altezza degli stessi ed assumendo un incremento del 20% del peso proprio del montante per la presenza di piastrame e bulloneria, si hanno i seguenti carichi:

	N (KN)
PP Barriera	5.69
PP PA	5.70
PP PB	11.40
PP muro	62.50

PP muro: $0.5m \times 2.5m \times 2.0m \times 25kN/m^3 = 62.5 \text{ kN}$

6.1.2 ML 10

PP HEB240	0.832 kN/m
-----------	------------

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	16 di 83

PP PA 0.5 kN/m²

PP PB 1 kN/m²

Dove:

PP_{HEB240} = peso proprio del montante verticale;

PP_{PA} = peso pannelli asciutti;

PP_{PA} = peso pannelli bagnati.

Riferendosi all'interasse di 2m tra i montanti verticali della barriera ed all'altezza degli stessi ed assumendo un incremento del 20% del peso proprio del montante per la presenza di piastrame e bulloneria, si hanno i seguenti carichi:

	N (KN)
PP Barriera	7.11
PP PA	7.12
PP PB	14.24
PP muro	62.50

PP muro: $0.5m \times 2.5m \times 2.0m \times 25kN/m^3 = 62.5 \text{ kN}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 17 di 83

6.2 Carichi variabili

6.2.1 Carico del vento

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

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti dirette secondo due assi principali della struttura, tali azioni esercitano normalmente all'elemento di parete o di copertura, pressioni e depressioni p (indicate rispettivamente con segno positivo e negativo) di intensità calcolate con la seguente espressione:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

- q_b = pressione cinetica di riferimento;
- c_e = coefficiente di esposizione;
- c_p = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);
- c_d = coefficiente dinamico.

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa					
	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						

Tabella 3: Definizione della categoria 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

Tabella 4: Schema per la definizione della categoria di esposizione – cfr. NTC18

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	18 di 83

Il valore di c_e può essere ricavato mediante la relazione:

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

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

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
3	27	500	0.02
a_s (altitudine sul livello del mare [m])			14
T_R (Tempo di ritorno)			50
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$			
$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
v_b ($T_R = 50$ [m/s])			27.000
α_R (T_R)			1.00073
v_b (T_R) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s]			27.020

p (pressione del vento [N/mq]) = $q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

q_b (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

c_e (coefficiente di esposizione)

c_p (coefficiente di forma)

c_d (coefficiente dinamico)



Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/mc})$$

q_b [N/mq]	456.29
--------------	--------

**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	19 di 83

Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

C) Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa	mare	500m	750m		
	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						

ZONA 6					
	costa	mare	500m		
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
	mare	costa	
	1.5 km	0.5 km	
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
	mare	costa
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Zona	Classe di rugosità	a_s [m]
3	C	14

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

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

Cat. Esposiz.	k_r	z_0 [m]	z_{\min} [m]	c_t
III	0.2	0.1	5	1

BARRIERA ML 7:

z [m]	c_e
$z \leq 5$	1.708
$z = 0$	1.708
$z = 8.2$	2.011

q_b	0.46	kN/mq	
C_e	2.011		Coefficiente di esposizione
C_p	3.4		Coefficiente di forma
C_d	1		Coefficiente dinamico
p	3.12	kN/mq	Pressione del vento

Si rimanda alla fase esecutiva la verifica degli ultimi due montanti.

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	20 di 83

BARRIERA ML10:

z [m]	C _e
z ≤ 5	1.708
z = 0	1.708
z = 9.62	2.113

q _b	0.46	kN/mq	
C _e	2.113		Coefficiente di esposizione
C _p	3.4		Coefficiente di forma
C _d	1		Coefficiente dinamico
p	3.28	kN/mq	Pressione del vento

Si rimanda alla fase esecutiva la verifica degli ultimi due montanti.

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 21 di 83

6.2.2 Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

In accordo con quanto previsto nella “Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario” - RFI DTC-INC-PO SP IFS 001 A del 21.12.2011; si considera l’effetto aerodinamico associato al passaggio dei treni. Tali prescrizioni si riscontrano anche al punto 5.2 della NTC2008 relativo ai ponti ferroviari. Le azioni possono essere schematizzate mediante carichi equivalenti agenti nelle zone prossime alla testa ed alla coda del treno, il cui valore viene determinato con riferimento a due schemi, e deve essere utilizzato quello che meglio approssima la forma della pensilina, nel nostro caso la nostra pensilina si trova in una situazione intermedia tra le due descritte nello schema, pertanto calcoleremo il valore di pressione secondo entrambi gli schemi, ed applicheremo poi al modello di calcolo quello che induce una pressione maggiore:

Superfici multiple a fianco del binario sia verticali che orizzontali o inclinate (5.2.2.6.1 – NTC2008):

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

$$a_g' = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g$$

dove le distanze $\min a_g$ e $\max a_g$ sono state determinate in base al grafico sottostante.

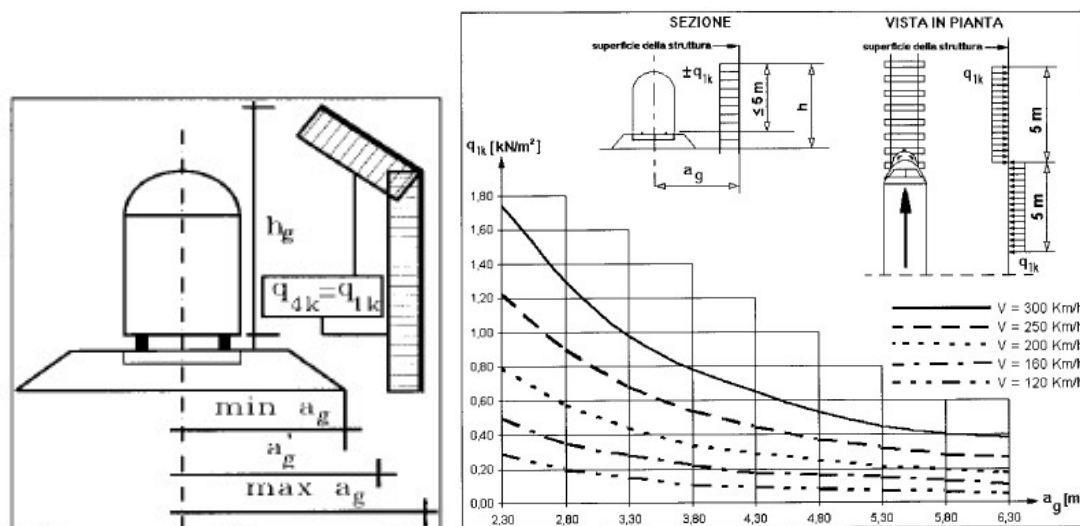


Figura 4: Grafico per la definizione della distanza min-max a_g , e valori caratteristici delle azioni q_{1k} su superfici verticali e parallele al binario

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 22 di 83

BARRIERA ML 7:

$$\min a_g = 2.9 \text{ m}; \quad \max a_g = 3.14 \text{ m};$$

$$a_g' = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g = 3 \text{ m};$$

A tali valori di a_g' corrispondono i seguenti valori dell'azione q_{1k} prodotta dal passaggio del convoglio, calcolata con velocità $V = 150 \text{ km/h}$ e con riferimento a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli:

$$q_{1k} = 0,30 \text{ kN/m}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Pressione aerodinamica dovuta al passaggio dei convogli.}$$

Il valore sarà però aumentato secondo quanto prescritto dalle "Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle Barriere AntiRumore":

$$\text{Vento} + P_{\text{aerod.}} \geq 1.50 \text{ kN/ m}^2 \text{ per tutte le verifiche.}$$

Nel modello di calcolo verranno pertanto considerate le seguenti azioni:

$$\text{Vento} \quad W = 3.12 \text{ kN/ m}^2$$

$$\text{S150} \quad \delta Q = 0,30 \text{ kN/ m}^2$$

BARRIERA ML 10:

$$\min a_g = 3.49 \text{ m}; \quad \max a_g = 3.73 \text{ m};$$

$$a_g' = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g = 3.59 \text{ m};$$

A tali valori di a_g' corrispondono i seguenti valori dell'azione q_{1k} prodotta dal passaggio del convoglio, calcolata con velocità $V = 150 \text{ km/h}$ e con riferimento a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli:

$$q_{1k} = 0,25 \text{ kN/m}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Pressione aerodinamica dovuta al passaggio dei convogli.}$$

Il valore sarà però aumentato secondo quanto prescritto dalle "Prescrizioni tecniche integrative e provvisorie per la progettazione delle Barriere AntiRumore":

$$\text{Vento} + P_{\text{aerod.}} \geq 1.50 \text{ kN/ m}^2 \text{ per tutte le verifiche.}$$

Nel modello di calcolo verranno pertanto considerate le seguenti azioni:

$$\text{Vento} \quad W = 3.28 \text{ kN/ m}^2$$

$$\text{S150} \quad \delta Q = 0,25 \text{ kN/ m}^2$$

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 23 di 83

6.3 Azione Sismica

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2008), le azioni sismiche di progetto 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.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al § 3.2.2 del D.M. 2008), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, come definite nel § 3.2.1 del D.M. 2008, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4 del D.M. 2008.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell’azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di a_g , F_o e T_c^* necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

6.3.1 Vita nominale

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. Per la definizione della Vita Nominale da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria si rimanda al “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” - RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29.12.2105;

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	24 di 83

L'oggetto della presente relazione risulta essere un'opera nuova su infrastrutture ferroviarie esistenti a velocità convenzionale ($v < 250$ km/h).

TIPO DI COSTRUZIONE ⁽¹⁾	Vita Nominale [V_N] ⁽¹⁾
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITA' CONVENZIONALE ($V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' ($V < 250$ km/h)	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITA' ($V \geq 250$ Km/h)	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	≥ 100 ⁽²⁾
(1) - La medesima V_N si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.	
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI. (

Tabella 5: Tabella Vita Nominale in funzione del tipo di costruzione

Tenendo conto delle indicazioni precedenti le strutture di progetto avranno vita nominale $V_N = 50$.

6.3.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

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

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	25 di 83

comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per la definizione della Classe di uso da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria esistente si rimanda al punto 1.1.1 dell'Istruzione RFI " *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario*" - RFI DTC-INC-PO SP IFS 001 A del 21.12.2011".

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [C _U]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Tabella 6: Tabella Classe d'uso Coeff. d'uso in funzione del tipo di costruzione per l'infrastruttura ferroviaria

- Facendo riferimento al, “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI ” pag.151 di 431 – *Ponti e strutture - RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29.12.2015*, le strutture di progetto non ricadono in una linea del sistema di grande viabilità strategica pertanto nel progetto si considera una classe d'uso tipo II con coefficiente d'uso C_U=1,0.

6.3.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.00 = 50 \text{ anni (periodo di riferimento).}$$

6.3.4 Valutazione dei parametri di pericolosità sismica

Fissata la vita di riferimento V_R, i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

	STATO LIMITE	P _{VR} : probabilità di superamento nel periodo di riferimento
SLE	SLO - Stato Limite di Operatività	81%
	SLD - Stato Limite di Danno	63%
SLU	SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%
	SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%

Tabella 7: Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = -\frac{C_U \cdot V_N}{\ln(1 - P_{V_R})} \text{ da cui si ottiene la seguente Tab. 12:}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 26 di 83

Stati limite		Valori in anni del periodo di ritorno T_R al variare del periodo di riferimento V_R (anni)
SLE	SLO	30
	SLD	50
SLU	SLV	475
	SLC	975

Tabella 8: Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Per il sito in esame, in base ai parametri precedentemente adottati, il periodo T_R in corrispondenza dello stato limite ultimo SLV è pari a $T_R = 475$ anni.

Le strutture di progetto avranno quindi i seguenti parametri sismici:

- vita nominale $V_N = 50$;
- periodo di riferimento pari a $V_R = 50$;
- il periodo T_R in corrispondenza dello SLV sarà pari a $T_R = 475$ anni.

6.3.5 Caratterizzazione sismica del terreno

Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2008.

Come già illustrato, i terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria D.

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 27 di 83

Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 9: Classificazione topografica superfici

Le categorie topografiche appena definite si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come T1.

Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2008 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_S \cdot S_T$ e di C_C in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle che sono riportate di seguito:

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 10: Tabella delle espressioni per S_S e C_C

<div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	28 di 83

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 11: Tabella valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S_T

Il valore del coefficiente di amplificazione topografica è posto pari a $S_T = 1$

I valori dei coefficienti di amplificazione stratigrafica sono pari a $S_s = 1,80$ e $C_c = 2,374$

Parametri sismici di calcolo

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☐ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
12.51433

LATITUDINE
41.91779

☒ Ricerca per comune

REGIONE
Toscana

PROVINCIA
Pisa

COMUNE
Cascina

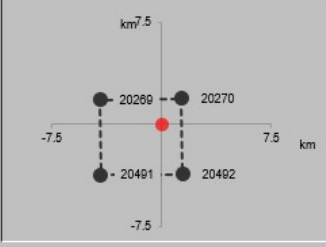
Elaborazioni grafiche

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".

Figura 5: Individuazione della pericolosità del sito (Fase 1)

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

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

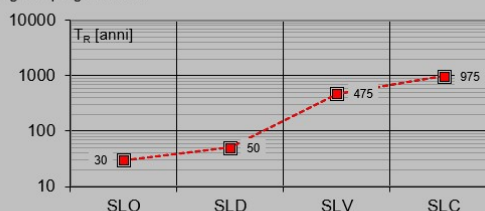
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

--- Strategia per costruzioni ordinarie

--- Strategia scelta

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 6: Scelta della strategia di progettazione (Fase 2)

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo info

$S_S = 1.800$

$C_C = 2.374$ info

Categoria topografica info

$h/H = 0.000$

$S_T = 1.000$ info

(h =quota sito, H =altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

☐ Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%)

$\eta = 1.000$ info

☒ Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_0

Regol. in altezza info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q

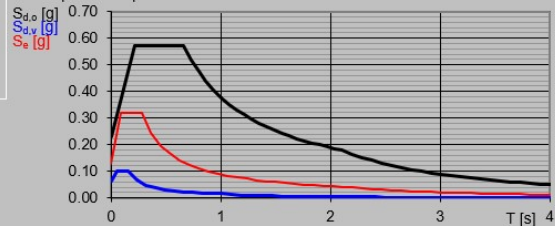
$\eta = 0.667$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 7: Determinazione dell'azione di progetto (Fase 3)

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

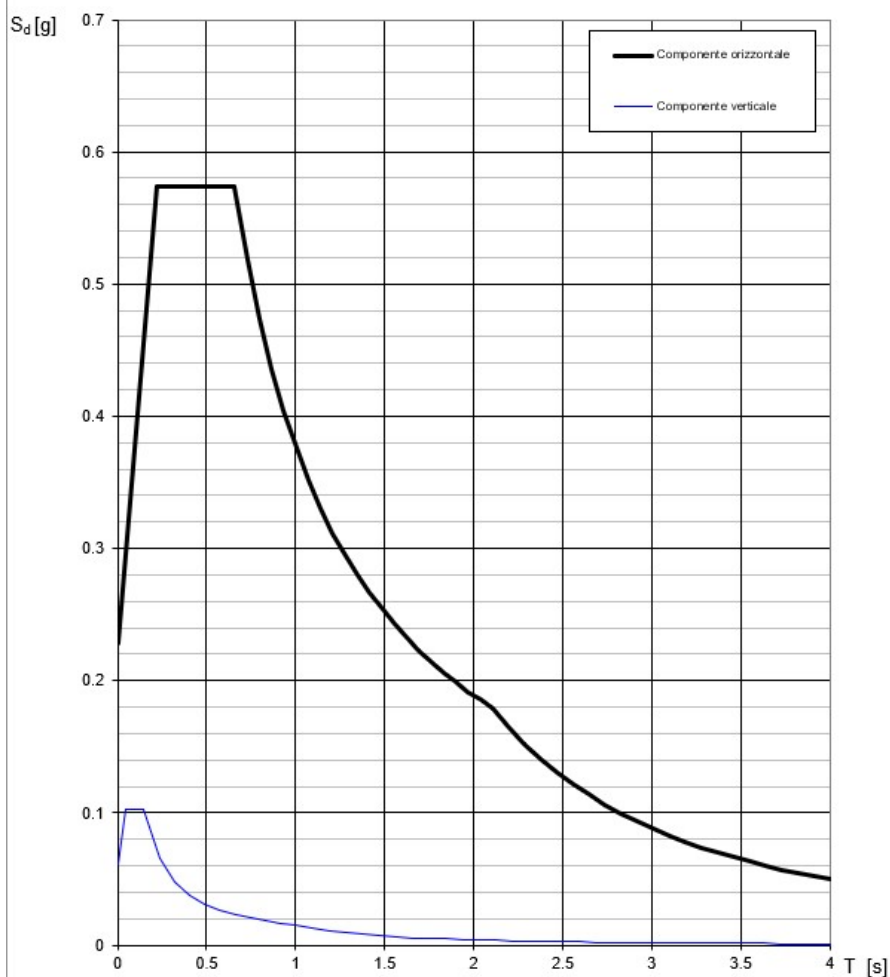


Figura 8: Spettro di progetto: grafico

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.127 g
F_o	2.509
T_c	0.277 s
S_s	1.800
C_c	2.374
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.800
η	1.000
T_B	0.219 s
T_C	0.658 s
T_D	2.108 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)

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\ T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

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	0.228
$T_B \leftarrow$	0.219	0.573
$T_C \leftarrow$	0.658	0.573
	0.727	0.519
	0.796	0.474
	0.865	0.436
	0.934	0.404
	1.003	0.376
	1.072	0.352
	1.141	0.331
	1.210	0.312
	1.279	0.295
	1.348	0.280
	1.418	0.266
	1.487	0.254
	1.556	0.243
	1.625	0.232
	1.694	0.223
	1.763	0.214
	1.832	0.206
	1.901	0.199
	1.970	0.192
	2.039	0.185
$T_D \leftarrow$	2.108	0.179
	2.198	0.165
	2.288	0.152
	2.378	0.141
	2.468	0.131
	2.558	0.122
	2.648	0.113
	2.738	0.106
	2.829	0.099
	2.919	0.093
	3.009	0.088
	3.099	0.083
	3.189	0.078
	3.279	0.074
	3.369	0.070
	3.459	0.066
	3.549	0.063
	3.640	0.060
	3.730	0.057
	3.820	0.055
	3.910	0.052
	4.000	0.050

Figura 9: Spettro di progetto: valori

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 32 di 83

Calcolo forza sismica alla base

Per la valutazione della forza alla base del manufatto, indotta dal moto sismico, si procede facendo riferimento a quanto prescritto dalle normative vigenti.

I parametri dello spettro di risposta elastica sono di seguito riportati :

	T_R (anni)	a_g (g)	F_o	T_C^* (s)
SLV	475	0,127	2,509	0,277

Tabella 12: Parametri spettro di risposta in funzione di T_R

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

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

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \quad \text{con} \quad T_B \leq T < T_C;$$

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

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

dove:

T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale;

$S = S_S \cdot S_T$, coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, in cui i valori di S_S , coefficiente di amplificazione stratigrafica, e di S_T , coefficiente di amplificazione topografica sono riportati nelle tabelle presenti di seguito;

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55,$$

fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, con ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

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

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	33 di 83

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro con C_T e C_C (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo) definiti nelle tabelle del presente paragrafo dell'azione sismica;

$T_B = T_C / 3$ è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$ T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro,

espresso in secondi.

Si hanno pertanto i seguenti valori:

$\xi = 5 \%$;

$\eta = 1$;

$C_C = 2,374$;

$S = S_S \cdot S_T = 1,80 \cdot 1,00 = 1,80$;

$T_B = 0,219$ s;

$T_C = 0,658$ s;

$T_D = 2,108$ s.

Le componenti della forza sismica orizzontale legata alla massa della barriera è data dalla seguente formula

presente nel D.M.2008: $F_{h,i} = S_e(T_i) \cdot W_i \cdot \frac{\lambda}{g}$,

dove:

$F_{ih,i}$ è la forza da applicare alla massa *i*-esima;

W_i è il peso della massa *i*-esima;

$S_e(T_i)$ è l'ordinata dello spettro di risposta di progetto definito in precedenza;

λ è un coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_i < 2 \cdot T_C$, pari a 1,0 in tutti gli altri casi;

g è l'accelerazione di gravità terrestre (9,80665 m/s²).

Dalle formulazioni precedentemente riportate i valori delle ordinate dello in condizioni di pannelli asciutti e bagnati è pari:

$S_e = 0.574$ g.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 34 di 83

7. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2008 al par.2.5.3:

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

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

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

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

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

In base a quanto riportato al paragrafo precedente, non viene considerata nessuna combinazione sismica.

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2008 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito. In particolare si segnala che i pesi propri dei pannelli sono stati considerati come carichi permanenti non strutturali compiutamente definiti, quindi sono stati adottati gli stessi coefficienti validi per i carichi permanenti, mentre l'azione aerodinamica generata dal transito dei convogli è stata considerata come un carico variabile da traffico.

In riferimento al **MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI" - RFI DTC SICS MA IFS 001 A del 29.12.2105 - §1.5.4.3.1 "Criteri di combinazione delle azioni"** si considera che:

il valore della combinazione "vento + effetto aerodinamico" (p_{tot}) sarà assunto pari a:

$$p_{vento} + p_{aerod} = p_{tot} \geq 1,5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Nel caso in esame quindi l'azione del vento ed aerodinamica verranno considerate come un'unica azione variabile.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 35 di 83

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.

⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 36 di 83

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F _{wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T _k	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	37 di 83

In totale sono state analizzate 8 combinazioni di tipo SLU, 4 di tipo GEO e 10 combinazioni di tipo SLE, per un totale di 22 combinazioni; i coefficienti adottati per ogni combinazione sono riportati nel seguito:

8 combinazioni SLU di tipo strutturale, per verificare il raggiungimento della resistenza dei pali e del cordolo di fondazione, utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1):

SLU1: Carichi permanenti sfavorevoli, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLU2: Carichi permanenti favorevoli, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLU3: Carichi permanenti sfavorevoli, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLU4: Carichi permanenti favorevoli, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLU5, SLU6, SLU7, SLU8 analoghe rispettivamente a SLU1, SLU2, SLU3, SLU4 ma con i coefficienti moltiplicativi unitari per i carichi permanenti;

4 combinazioni SLU di tipo geotecnico, per verificare il collasso per carico limite dei micropali nei confronti dei carichi assiali, utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M1+R2):

SLU9, SLU10, SLU11, SLU12 analoghe rispettivamente a SLU1, SLU2, SLU3, SLU4 ma con i coefficienti moltiplicativi A2 anziché A1;

4 combinazioni SLE di tipo rara:

SLE1: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLE2: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLE3: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLE4: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

4 combinazioni SLE di tipo frequente:

SLE5: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

SLE6: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLE7: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi negativi;

SLE8: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica concordi positivi;

2 combinazioni SLE di tipo quasi permanente:

SLE9: Carichi permanenti unitari, pannelli bagnati, vento e azione aerodinamica assenti (moltiplicati per $\psi_2=0$);

SLE10: Carichi permanenti unitari, pannelli asciutti, vento e azione aerodinamica assenti (moltiplicati per $\psi_2=0$);

4 combinazioni SLU di tipo SISMICA:

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	38 di 83

SISMICA1-3: Carichi permanenti e sisma unitari, pannelli asciutti, (positivi e negativi);

SISMICA2-4: Carichi permanenti e sisma unitari, pannelli bagnati, (positivi e negativi).

7.1 Combinazioni statiche

		PP	P. Asc.	P. Bag.	Vento	Aereod.
App1-C1 (STR)	SLU 1	1.35	0	1.35	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 2	1.35	1.35	0	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 3	1.35	0	1.35	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 4	1.35	1.35	0	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 5	1	0	1	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 6	1	1	0	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 7	1	0	1	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 8	1	1	0	1.5	1.5
App1-C2 (GEO)	SLU 9	1	0	1	1.3	1.3
App1-C2 (GEO)	SLU 10	1	1	0	-1.3	-1.3
App1-C2 (GEO)	SLU 11	1	0	1	-1.3	-1.3
App1-C2 (GEO)	SLU 12	1	1	0	1.3	1.3
RARA	SLE 1	1	0	1	1	1
RARA	SLE 2	1	0	1	-1	-1
RARA	SLE 3	1	1	0	1	1
RARA	SLE 4	1	1	0	-1	-1
FREQ	SLE 5	1	0	1	0.5	0.5
FREQ	SLE 6	1	0	1	-0.5	-0.5
FREQ	SLE 7	1	1	0	-0.5	-0.5
FREQ	SLE 8	1	1	0	0.5	0.5
Q.PERM	SLE 9	1	0	1	0	0
Q.PERM	SLE 10	1	1	0	0	0

Tabella 13: Coefficienti moltiplicativi delle azioni nelle diverse combinazioni statiche

7.2 Combinazioni sismiche

Combo	PP	P.Asc.	P.Bagn.	Sisma PA	Sisma PB
Sismica 1	1	1	0	1	0
Sismica 2	1	0	1	0	1
Sismica 3	1	1	0	-1	0
Sismica 4	1	0	1	0	-1

Tabella 14: Coefficienti moltiplicativi delle azioni nelle diverse combinazioni sismiche

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	39 di 83

8. VERIFICA DEL MURO IN CALCESTRUZZO

Per la verifica di resistenza del muro in calcestruzzo si è adottato uno schema statico tipo mensola incastrata nella sezione fra il muro e il cordolo di fondazione.

Ci si riferisce ad una lunghezza del muro pari a quella dell'interasse dei montanti della barriera.

Si omettono le verifiche in condizioni simiche essendo le sollecitazioni in tale situazione inferiori a quelle in condizioni statiche, come mostrato di seguito.

Barriera ML 7.

Le azioni riportate di seguito si riferiscono ad una lunghezza di 2m.

Azione sismica:

$S_e(T_1)$ (g)	0.574	Alla base			
		N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
PP HEB240		0	3.26	5.35	17.46
PP PB		0	6.54	5.35	35.98
PP muro		0	35.85	1.25	44.81
		0	45.65		97.25

Vento

Ripartito		Alla base			
p (kN/m)		N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
6.24 kN/m		0	51.16	4.10	209.74

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

Ripartito		Alla base			
p (kN/m)		N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
0.60		0	4.92	4.10	20.17

Sia il taglio che il momento dovuti al sisma sono inferiori a quelli dovuti al vento e all'azione aerodinamica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 40 di 83

Barriera ML 10.

Le azioni riportate di seguito si riferiscono ad una lunghezza di 2m.

Azione sismica:

$S_e(T_1)$ (g)	0.574	Alla base			
		N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
PP HEB240		0	4.08	6.06	24.71
PP PB		0	8.17	6.06	49.49
PP muro		0	35.85	1.25	44.81
		0	48.09		119.01

Vento

Ripartito	Alla base			
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
6.56 kN/m	0	63.06	4.81	303.33

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

Ripartito	Alla base			
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
0.50	0	4.81	4.81	23.14

Sia il taglio che il momento dovuti al sisma sono inferiori a quelli dovuti al vento e all'azione aereodinamica.

8.1 SOLLECITAZIONI DI VERIFICA

8.1.1 Barriera ML 7

Hmuro	2.5 m
Lmuro	2 m

Pesi Propri

	Ripartito	Alla base			
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
PP HEB240	0.998	5.69	0	0	0
PP PA	1	5.70	0	0	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 41 di 83

PP PB	2	11.40	0	0	0
PP muro		62.50	0	0	0
	4.00	85.29	0.00		0.00

Vento

Ripartito	Alla base				
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)	
6.24 kN/m	0	51.16	4.10	209.74	

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

Ripartito	Alla base				
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)	
0.60	0	4.92	4.10	20.17	

Inoltre, sono stati considerati i pesi propri derivanti dalla barriera metallica, dai pannelli fonoassorbenti sia nel caso di pannelli bagnati (combinazione 2) sia nel caso di pannelli asciutti (combinazione 1) e dal muro in calcestruzzo.

Le azioni sono state opportunamente combinate secondo i coefficienti di combinazione di calcolo riportati in precedenza sia allo stato limite ultimo che allo stato limite di esercizio. Si ottiene dunque:

		N (kN)	V (kN)	M (kNm)
App1-C1 (STR)	SLU 1	107.45	84.12	344.87
App1-C1 (STR)	SLU 2	99.75	-84.12	-344.87
App1-C1 (STR)	SLU 3	107.45	-84.12	-344.87
App1-C1 (STR)	SLU 4	99.75	84.12	344.87
App1-C1 (STR)	SLU 5	79.59	84.12	344.87
App1-C1 (STR)	SLU 6	73.89	-84.12	-344.87
App1-C1 (STR)	SLU 7	79.59	-84.12	-344.87
App1-C1 (STR)	SLU 8	73.89	84.12	344.87
RARA	SLE 1	79.59	56.08	229.91
RARA	SLE 2	79.59	-56.08	-229.91
RARA	SLE 3	73.89	56.08	229.91
RARA	SLE 4	73.89	-56.08	-229.91
FREQ	SLE 5	79.59	28.04	114.96
FREQ	SLE 6	79.59	-28.04	-114.96
FREQ	SLE 7	73.89	-28.04	-114.96

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 42 di 83

FREQ	SLE 8	73.89	28.04	114.96
Q.PERM	SLE 9	79.59	0.00	0.00
Q.PERM	SLE 10	73.89	0.00	0.00

8.1.2 Barriera ML 10

Hmuro 2.5 m
Lmuro 2 m

Pesi Propri

	Ripartito	Alla base			
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
PP HEB240	0.998	7.11	0	0	0
PP PA	1	7.12	0	0	0
PP PB	2	14.24	0	0	0
PP muro		62.50	0	0	0
	4.00	90.97	0.00		0.00

Vento

	Ripartito	Alla base			
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
	6.56 kN/m	0	63.06	4.81	303.33

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

	Ripartito	Alla base			
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
	0.50	0	4.81	4.81	23.14

Inoltre, sono stati considerati i pesi propri derivanti dalla barriera metallica, dai pannelli fonoassorbenti sia nel caso di pannelli bagnati (combinazione 2) sia nel caso di pannelli asciutti (combinazione 1) e dal muro in calcestruzzo.

Le azioni sono state opportunamente combinate secondo i coefficienti di combinazione di calcolo riportati in precedenza sia allo stato limite ultimo che allo stato limite di esercizio. Si ottiene dunque:

**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	43 di 83

		N (kN)	V (kN)	M (kNm)
App1-C1 (STR)	SLU 1	113.20	101.81	489.69
App1-C1 (STR)	SLU 2	103.58	-101.81	-489.69
App1-C1 (STR)	SLU 3	113.20	-101.81	-489.69
App1-C1 (STR)	SLU 4	103.58	101.81	489.69
App1-C1 (STR)	SLU 5	83.85	101.81	489.69
App1-C1 (STR)	SLU 6	76.73	-101.81	-489.69
App1-C1 (STR)	SLU 7	83.85	-101.81	-489.69
App1-C1 (STR)	SLU 8	76.73	101.81	489.69
RARA	SLE 1	83.85	67.87	326.46
RARA	SLE 2	83.85	-67.87	-326.46
RARA	SLE 3	76.73	67.87	326.46
RARA	SLE 4	76.73	-67.87	-326.46
FREQ	SLE 5	83.85	33.94	163.23
FREQ	SLE 6	83.85	-33.94	-163.23
FREQ	SLE 7	76.73	-33.94	-163.23
FREQ	SLE 8	76.73	33.94	163.23
Q.PERM	SLE 9	83.85	0.00	0.00
Q.PERM	SLE 10	76.73	0.00	0.00

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	44 di 83

8.2 Verifica Allo Stato Limite Ultimo

Le verifiche vengono riferite ad una lunghezza di 2m.

8.2.1 Barriera ML 7

Le azioni di verifica allo SLU sono le seguenti:

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
Nmax	107.45	84.12	344.87
Nmin	73.89	-84.12	-344.87
Vmax	107.45	84.12	344.87

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Viene disposta la seguente armatura verticale su entrambe le facce del paramento: ϕ 16/15

Combinazione con Nmax:

Titolo: Muro

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	200	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.81	5
2	26.81	45

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 107.5 0 kN
M_{xEd} 345 0 kNm
M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C32/40
E_{su} 67.5 E_{c2} 2
f_{yd} 360 N/mm² E_{cu} 3.5
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18.81
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
E_{syd} 1.8 G_{c,adm} 12.25
G_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

M_{xRd} 449.9 kNm
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 360 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 32.44 ‰
d 45 cm
x 4.382 x/d 0.09738
δ 0.7

Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.

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

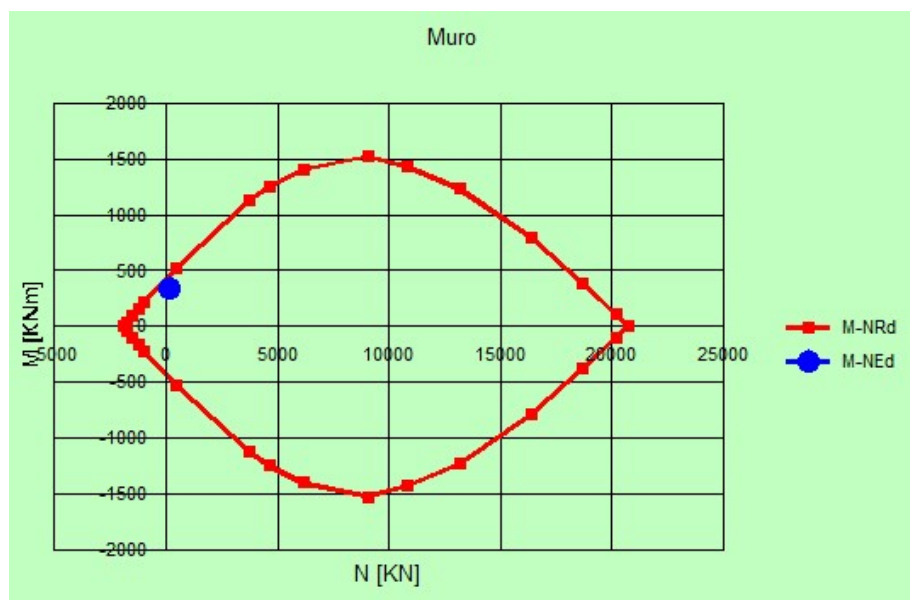
Tipo flessione
Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	45 di 83



Combinazione con Nmin:

Titolo: Muro

N° figure elementari: 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	200	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	26.81	5
2	26.81	45

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 74 kN
 M_{xEd} 345 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura:
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione:
☒ Retta ☐ Deviata

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 360 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 18.81 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ε_{syd} 1.8 ‰ σ_{c,adm} 12.25 N/mm²
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

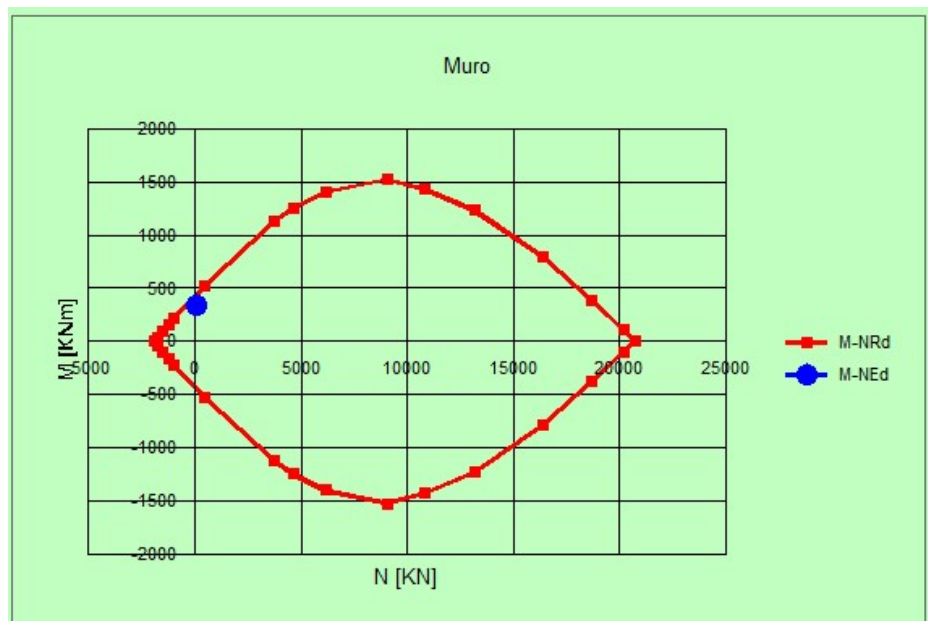
M_{xRd} 443.1 kNm
 σ_c -18.81 N/mm²
 σ_s 360 N/mm²
 ε_c 3.5 ‰
 ε_s 32.79 ‰
 d 45 cm
 x 4.34 x/d 0.09645
 δ 0.7

Calcola MRd **Dominio M-N**
 L₀ 0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso

**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	46 di 83



VERIFICA A TAGLIO

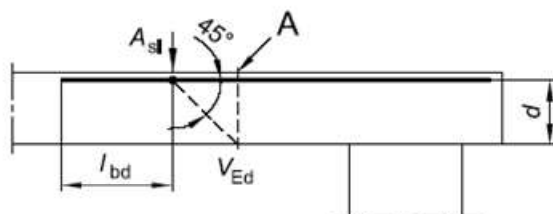
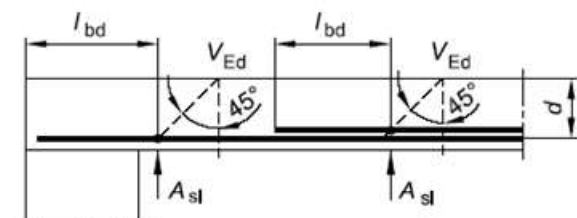
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	84.12	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.67	[-]
		1.67	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0.0029787	[-]
		0.0029787	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	386.36	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	390.53	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	390.53	[kN]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 47 di 83

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,00$$

$$\rho_l = A_{s,tesa} / (b d)$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} b d$$

$$V_{Rd,min} = (0,035 k^{3/2} (f_{ck})^{1/2}) b d$$

$$V_{Ed} < V_{Rd} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

8.2.2 Barriera ML 10

Le azioni di verifica allo SLU sono le seguenti:

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
Nmax	113.20	101.81	489.69
Nmin	76.73	-101.81	-489.69
Vmax	113.20	101.81	489.69

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Viene disposta la seguente armatura verticale su entrambe le facce del paramento: ϕ 18/15

Combinazione con Nmax:

**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	48 di 83

Titolo: Muro

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	200	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	33.92	5
2	33.92	45

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 113.2 0 kN
M_{xEd} 489.7 0 kNm
M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C32/40
E_{su} 67.5 ‰ E_{c2} 2 ‰
f_{yd} 360 N/mm² E_{cu} 3.5 ‰
E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 18.81 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 ?
E_{syd} 1.8 ‰ σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

M_{xRd} 554.8 kNm
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 360 N/mm²
E_c 3.5 ‰
E_s 29.57 ‰
d 45 cm
x 4.762 x/d 0.1058
δ 0.7

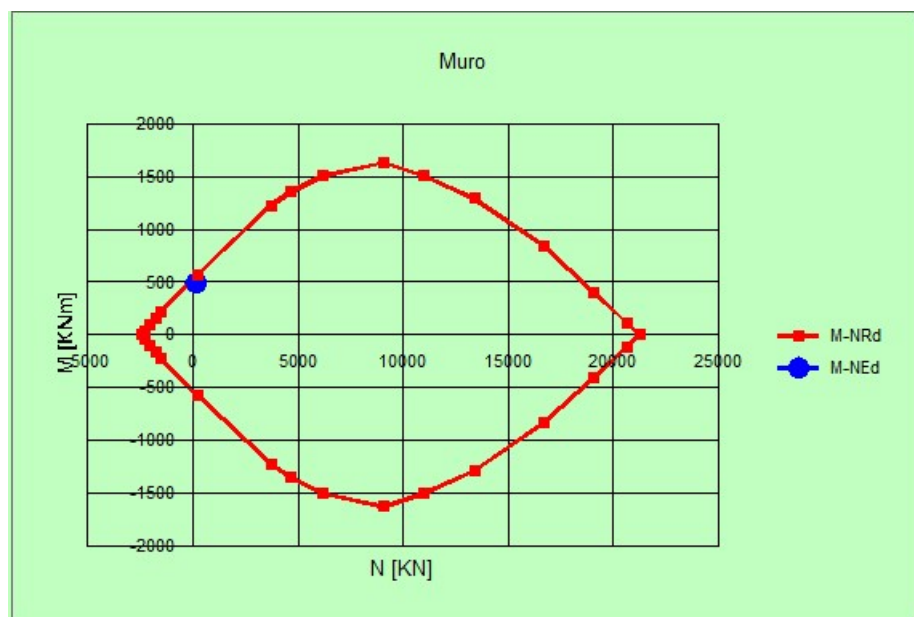
Tipo Sezione
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

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



**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	49 di 83

Combinazione con Nmin:

Titolo: Muro

N° figure elementari: 1 **Zoom** **N° strati barre:** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	200	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	33.92	5
2	33.92	45

Sollecitazioni
S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 76.73 **0** kN
M_{xEd} 489.7 **0** kNm
M_{yEd} 0 **0**

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
B450C C32/40
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 360 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 18.81
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.8 ‰ σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

M_{xRd} 547.4 kN m
σ_c -18.81 N/mm²
σ_s 360 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 29.88 ‰
d 45 cm
x 4.718 x/d 0.1048
δ 0.7

Tipo Sezione
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

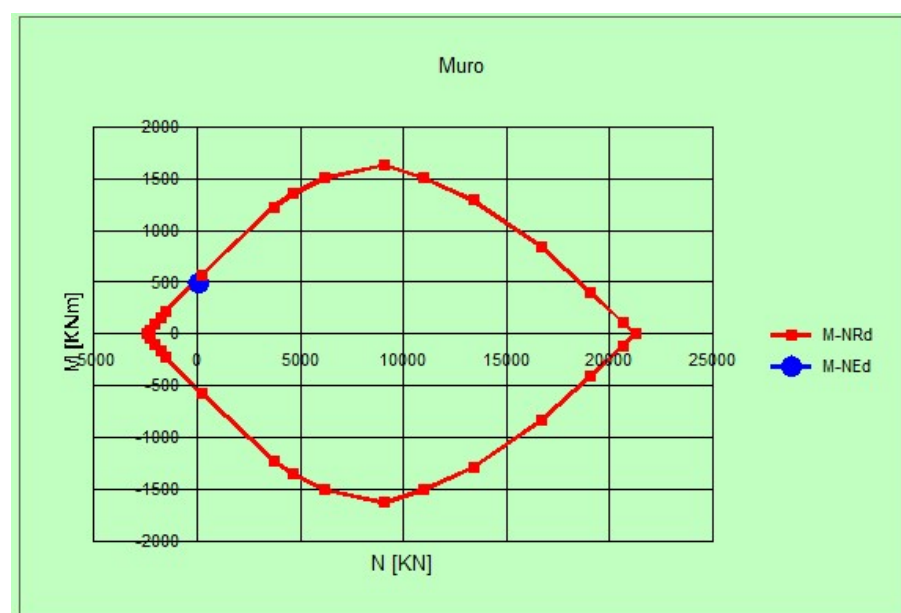
Metodo di calcolo
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. -
☐ Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**
L₀ 0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso



**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	50 di 83

VERIFICA A TAGLIO

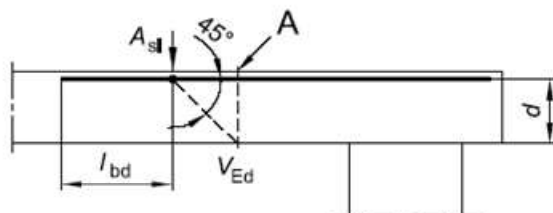
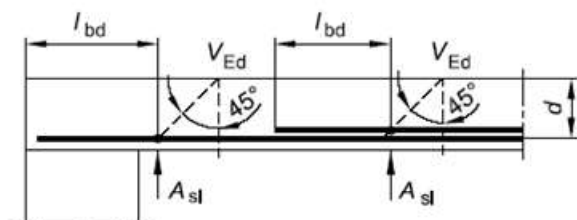
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO

Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	101.81	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		sì	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
Coefficiente k	k	1.67	[-]
		1.67	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0.0037699	[-]
		0.0037699	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	417.92	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	390.53	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	417.92	[kN]

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$$

$$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,00$$

$$\rho_l = A_{s,tesa} / (b d)$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} b d$$

$$V_{Rd,min} = (0,035 k^{3/2} (f_{ck})^{1/2}) b d$$

$$V_{Ed} < V_{Rd} \quad \text{VERIFICA SODDISFATTA}$$

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	51 di 83

8.3 Verifica Allo Stato Limite di esercizio

Le verifiche vengono riferite ad una lunghezza di 2m.

Verifiche a fessurazione

Al fine di assicurare la funzionalità e la durabilità delle strutture in c.a. è necessario non superare uno stato limite di fessurazione adeguato alle condizioni ambientali, alle sollecitazioni agenti ed alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Si distinguono i seguenti stati limite:

- a) Stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_t = f_{ctm} / 1,2$$

con:

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 0,30 \cdot 33,2^{(2/3)} = 3.10 \text{ N/mm}^2$$

- b) Stato limite di apertura delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta il valore limite di apertura della fessura è pari ad uno dei seguenti valori:

$$W_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$W_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$W_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione dalla corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise secondo quanto riportato nella tabella seguente, estratta dalle NTC 2008:

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso di specie la condizione di riferimento è “aggressiva” propria di una classe di esposizione XC4.

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 52 di 83

- combinazione quasi permanente
- combinazione frequente

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Le armature sono classificate come “*armature poco sensibili*”.

stato limite di formazione delle fessure

Il valore di calcolo di apertura delle fessure W_K non deve superare i valori nominali $W_1 = 0.2$ mm, $W_2 = 0.3$ mm, $W_3 = 0.4$ mm.

Il valore di calcolo è dato da:

$$W_K = 1.7 W_m$$

dove W_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ϵ_{sm} per la media fra le fessure Δ_m .

Per il calcolo delle grandezze descritte vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

Secondo la simbologia dell'EC2 l'ampiezza W_K vale:

$$W_K = \beta S_{rm} \epsilon_{sm}$$

in cui:

S_{rm} : interasse medio finale delle lesioni (fessurazione stabilizzata);

ϵ_{sm} : deformazione media delle barre di acciaio;

β : coefficiente che trasforma l'ampiezza media delle lesioni nel valore di calcolo pari ad un valore compreso fra 1.30 ed 1.70 relativamente a spessori variabili fra 300 mm e 800 mm;

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	53 di 83

ϵ_{sm} : si calcola con la relazione:

$$\epsilon_{sm} = \sigma_s / E_s (1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{ST} / \sigma_s)^2)$$

con:

σ_s : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio);

σ_{ST} : tensione nell'armatura tesa calcolata considerando la sezione fessurata (II stadio) considerando la condizione di carico che causa la prima fessurazione;

$\beta_1 = 1$ per barre ad aderenza migliorata;

β_2 coefficiente dipendente dalla durata del carico;

L'espressione di S_{rm} accolta dalla normativa italiana è la seguente:

$$S_{rm} = 2(c + s/10) + K_1 K_2 \phi / \rho_r$$

c: copriferro

s: interasse delle barre

K_1 : 0.40 (barre ad aderenza migliorata)

K_2 : 0.125 (flessione pura) – 0.25 (trazione pura)

Il controllo dell'ampiezza delle lesioni consiste nell'accertare la validità della seguente disuguaglianza:

$$W_K < W_{lim}$$

in cui:

W_K : è l'ampiezza di calcolo della lesione;

W_{lim} : è il valore nominale limite dell'ampiezza dalla lesione che è specificato dalle norme in base alle condizioni ambientali;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 54 di 83

8.3.1 Barriera ML 7

I valori di sollecitazione massimi per le combinazioni allo SLE sono le seguenti:

COMBINAZIONE RARA:

$$N = 74 \text{ kN}$$

$$M = 229.9 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE:

$$N = 74 \text{ kN}$$

$$M = 115 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE:

$$N = 74 \text{ kN}$$

$$M = 0 \text{ kNm}$$

Stato limite di formazione delle fessure

La formazione delle fessure avviene quando la tensione normale di trazione della fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2 = - 2.58 \text{ MPa.}$$

Comb. quasi permanente: $\sigma_c = 0.07 \text{ MPa}$ (compressione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure: non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

Combinazione frequente: $\sigma_c = -1.28 \text{ MPa}$ (trazione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure: non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

Verifica delle tensioni di esercizio

Si procede inoltre con la verifica tensionale per la combinazione rara per cui deve risultare che:

$$\sigma_{c,max} < 0,6 \cdot f_{ck} = 19.92 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione rara}$$

$$\sigma_{c,max} < 0,45 \cdot f_{ck} = 14.94 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione quasi permanente}$$

In particolare si ha che:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 55 di 83

Mmax RARA: $\sigma_c = 4.58 \text{ MPa}$

Mmax Q.PERM: $\sigma_c = 0.07 \text{ MPa}$

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_c < \sigma_{c,max}$

Inoltre per la combinazione rara deve risultare:

$$\sigma_{s,max} < 0,8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Risultando $\sigma_{s,max} = 199.3 \text{ N/mm}^2$ la verifica risulta soddisfatta

8.3.1 *Barriera ML 10*

I valori di sollecitazione massimi per le combinazioni allo SLE sono le seguenti:

COMBINAZIONE RARA:

$$N = 76.7 \text{ kN}$$

$$M = 326.5 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE FREQUENTE:

$$N = 76.7 \text{ kN}$$

$$M = 163.2 \text{ kNm}$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE:

$$N = 76.7 \text{ kN}$$

$$M = 0 \text{ kNm}$$

Stato limite di formazione delle fessure

La formazione delle fessure avviene quando la tensione normale di trazione della fibra più sollecitata vale:

$$\sigma_f = f_{ctm} / 1,2 = - 2.58 \text{ MPa.}$$

Comb. quasi permanente: $\sigma_c = 0.07 \text{ MPa}$ (compressione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure: non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	56 di 83

Combinazione frequente: $\sigma_c = -1.59$ MPa (trazione) non si supera lo stato limite di formazione delle fessure:
non occorre procedere alla verifica dello stato limite di apertura delle fessure

Verifica delle tensioni di esercizio

Si procede inoltre con la verifica tensionale per la combinazione rara per cui deve risultare che:

$$\sigma_{c,max} < 0,6 \cdot f_{ck} = 19.92 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione rara}$$

$$\sigma_{c,max} < 0,45 \cdot f_{ck} = 14.94 \text{ MPa} \quad \text{per la combinazione quasi permanente}$$

In particolare si ha che:

$$M_{max} \text{ RARA:} \quad \sigma_c = 5.83 \text{ MPa}$$

$$M_{max} \text{ Q.PERM:} \quad \sigma_c = 0.07 \text{ MPa}$$

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto $\sigma_c < \sigma_{c,max}$

Inoltre per la combinazione rara deve risultare:

$$\sigma_{s,max} < 0,8 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$$

Risultando $\sigma_{s,max} = 230.5 \text{ N/mm}^2$ la verifica risulta soddisfatta

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 57 di 83

9. VERIFICA STRUTTURALE E A FATICA DEL MONTANTE IN ACCIAIO E DEI COLLEGAMENTI

Le barriere B.A. metalliche leggere oggetto della presente relazione sono costituite da un montante in acciaio HEB 240 che sostiene pannelli fonoassorbenti; i montanti, posti ad interasse mutuo di 2,00m, hanno altezza di 5.7m (ML7) e 7.12m (ML10) e sono sorretti da un muro in cemento armato dello spessore complessivo di 50cm.

L'unione tra montante e muro in c.a. è costituita da una piastra in acciaio con tirafondi disposti parallelamente alle ali del profilato.

Si omettono le verifiche in condizioni sismiche essendo le sollecitazioni in tale situazione inferiori a quelle in condizioni statiche, come mostrato di seguito.

Barriera ML 7.

Le azioni riportate di seguito si riferiscono ad una lunghezza di 2m.

Vento

Ripartito		Alla base del montante		braccio (m)	M (kNm)
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)			
6.24 kN/m	0	35.56	2.85		101.35

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

Ripartito		Alla base del montante		braccio (m)	M (kNm)
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)			
0.60	0	3.42	2.85		9.75

SISMA

S _e (T ₁) (g)		Alla base		braccio (m)	M (kNm)
		N (kN)	V (kN)		
PP HEB240 + PB	0.574	0	9.80	2.85	27.94

Sia il taglio che il momento dovuti al sisma sono inferiori a quelli dovuti al vento e all'azione aerodinamica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 58 di 83

Barriera ML 10.

Le azioni riportate di seguito si riferiscono ad una lunghezza di 2m.

Vento

Ripartito		Alla base del montante			
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)	
6.56 kN/m	0	46.67	3.56	166.16	

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

Ripartito		Alla base del montante			
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)	
0.50	0	3.56	3.56	12.67	

SISMA

$S_e(T_1)$ (g)		Alla base			
	$S_e(T_1)$ (g)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
PP HEB240 + PB	0.574	0	12.24	3.56	43.59

Sia il taglio che il momento dovuti al sisma sono inferiori a quelli dovuti al vento e all'azione aerodinamica.

9.1 Analisi dei carichi

9.1.1 Barriera ML 7

Caratteristiche montante:

- Profilo HEB 240
- Altezza montante $h = 5.70$ m
- Interasse montanti $i = 2,00$ m

Caratteristiche unione

- Dimensioni piastra Dim. 400 x 450 mm
- Spessore piastra $s = 30$ mm

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	59 di 83

- N. tirafondi 8 (4+4)
- Diametro tirafondi $\phi 22$
- Lunghezza tirafondi L = 60,0 cm

Carichi unitari

Le caratteristiche di sollecitazione sono state determinate considerando le seguenti condizioni di carico:

- Peso proprio profilo 0,832 kN/ml = (0,832x1.2x5.7h) = 5.69 kN
- Peso proprio pannelli asciutti 0,50 kN/m² = (0,50x2,0x5.7h) = 5.70 kN
- Peso proprio pannelli bagnati 1,00 kN/m² = (1,00x2,0x5.7h) = 11.40 kN
- Vento 3.12 kN/m² = (3.12x2,0x5.7h) = 35.56 kN
- Effetti aerodinamici del treno 0,30 kN/m² = (0,30x2,0x5.7h) = 3.42 kN

In tal modo le sollecitazioni alla base del montante per le diverse condizioni di carico sono le seguenti:

Pesi Propri

	Ripartito		Alla base del montante		
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
PP HEB240	0.9984	5.69	0	0	0
PP PA	1.00	5.70	0	0	0
PP PB	2.00	11.40	0	0	0
	4.00	22.79	0.00		0.00

Vento

	Ripartito		Alla base del montante		
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
	6.24 kN/m	0	35.56	2.85	101.35

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

	Ripartito		Alla base del montante		
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
	0.60	0	3.42	2.85	9.75

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	60 di 83

9.1.2 Barriera ML 10

Caratteristiche montante:

- Profilo HEB 240
- Altezza montante $h = 7.12 \text{ m}$
- Interasse montanti $i = 2,00\text{m}$

Caratteristiche unione

- Dimensioni piastra Dim. 550 x 450 mm
- Spessore piastra $s = 30 \text{ mm}$
- N. tirafondi 8 (4+4)
- Diametro tirafondi $\phi 22$
- Lunghezza tirafondi $L = 60,0 \text{ cm}$

Carichi unitari

Le caratteristiche di sollecitazione sono state determinate considerando le seguenti condizioni di carico:

- | | | | |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| • Peso proprio profilo | 0,832 kN/ml | $= (0,832 \times 1.2 \times 7.12h)$ | $= 7.11 \text{ kN}$ |
| • Peso proprio pannelli asciutti | 0,50 kN/m ² | $= (0,50 \times 2,0 \times 7.12h)$ | $= 7.12 \text{ kN}$ |
| • Peso proprio pannelli bagnati | 1,00 kN/m ² | $= (1,00 \times 2,0 \times 7.12h)$ | $= 14.24 \text{ kN}$ |
| • Vento | 3.28 kN/m ² | $= (3.28 \times 2,0 \times 7.12h)$ | $= 46.67 \text{ kN}$ |
| • Effetti aerodinamici del treno | 0,25 kN/m ² | $= (0,25 \times 2,0 \times 7.12h)$ | $= 3.56 \text{ kN}$ |

In tal modo le sollecitazioni alla base del montante per le diverse condizioni di carico sono le seguenti:

Pesi Propri

	Ripartito		Alla base del montante		
	p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)
PP HEB240	0.9984	7.11	0	0	0
PP PA	1.00	7.12	0	0	0
PP PB	2.00	14.24	0	0	0
	4.00	28.47	0.00		0.00

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	61 di 83

Vento

Ripartito		Allo base del montante			
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)	
6.56 kN/m	0	46.67	3.56	166.16	

Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

Ripartito		Allo base del montante			
p (kN/m)	N (kN)	V (kN)	braccio (m)	M (kNm)	
0.50	0	3.56	3.56	12.67	

9.1.3 Combinazioni

Per dimensionare il montante si utilizzano le combinazioni che permettono di determinare lo stato più gravoso in termini di:

Pressoflessione N, M

taglio V_{max} ;

		PP	P. Asc.	P. Bag.	Vento	Aereod.
App1-C1 (STR)	SLU 1	1.35	0	1.35	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 2	1.35	1.35	0	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 3	1.35	0	1.35	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 4	1.35	1.35	0	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 5	1	0	1	1.5	1.5
App1-C1 (STR)	SLU 6	1	1	0	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 7	1	0	1	-1.5	-1.5
App1-C1 (STR)	SLU 8	1	1	0	1.5	1.5
RARA	SLE 1	1	0	1	1	1
RARA	SLE 2	1	0	1	-1	-1
RARA	SLE 3	1	1	0	1	1
RARA	SLE 4	1	1	0	-1	-1
FREQ	SLE 5	1	0	1	0	0
FREQ	SLE 6	1	0	1	0	0
FREQ	SLE 7	1	1	0	0	0
FREQ	SLE 8	1	1	0	0	0

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	62 di 83

Q.PERM	SLE 9	1	0	1	0	0
Q.PERM	SLE 10	1	1	0	0	0

	PP	P. Bag.	Sisma
SISMA 1	1	1	1
SISMA 2	1	1	-1

Barriera ML 7

		N (kN)	V (kN)	M (kNm)
App1-C1 (STR)	SLU 1	23.07	58.47	166.64
App1-C1 (STR)	SLU 2	15.38	-58.47	-166.64
App1-C1 (STR)	SLU 3	23.07	-58.47	-166.64
App1-C1 (STR)	SLU 4	15.38	58.47	166.64
App1-C1 (STR)	SLU 5	17.09	58.47	166.64
App1-C1 (STR)	SLU 6	11.39	-58.47	-166.64
App1-C1 (STR)	SLU 7	17.09	-58.47	-166.64
App1-C1 (STR)	SLU 8	11.39	58.47	166.64
RARA	SLE 1	17.09	38.98	111.09
RARA	SLE 2	17.09	-38.98	-111.09
RARA	SLE 3	11.39	38.98	111.09
RARA	SLE 4	11.39	-38.98	-111.09
FREQ	SLE 5	17.09	19.49	55.55
FREQ	SLE 6	17.09	-19.49	-55.55
FREQ	SLE 7	11.39	-19.49	-55.55
FREQ	SLE 8	11.39	19.49	55.55
Q.PERM	SLE 9	17.09	0.00	0.00
Q.PERM	SLE 10	11.39	0.00	0.00

Sollecitazioni N, M, V - Combinazioni statiche

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
SISMA 1	17.09	9.80	27.94
SISMA 2	17.09	-9.80	-27.94

Sollecitazioni N, M, V - Combinazioni Sismiche

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	63 di 83

Barriera ML 10

		N (kN)	V (kN)	M (kNm)
App1-C1 (STR)	SLU 1	28.82	75.35	268.25
App1-C1 (STR)	SLU 2	19.21	-75.35	-268.25
App1-C1 (STR)	SLU 3	28.82	-75.35	-268.25
App1-C1 (STR)	SLU 4	19.21	75.35	268.25
App1-C1 (STR)	SLU 5	21.35	75.35	268.25
App1-C1 (STR)	SLU 6	14.23	-75.35	-268.25
App1-C1 (STR)	SLU 7	21.35	-75.35	-268.25
App1-C1 (STR)	SLU 8	14.23	75.35	268.25
RARA	SLE 1	21.35	50.23	178.83
RARA	SLE 2	21.35	-50.23	-178.83
RARA	SLE 3	14.23	50.23	178.83
RARA	SLE 4	14.23	-50.23	-178.83
FREQ	SLE 5	21.35	25.12	89.42
FREQ	SLE 6	21.35	-25.12	-89.42
FREQ	SLE 7	14.23	-25.12	-89.42
FREQ	SLE 8	14.23	25.12	89.42
Q.PERM	SLE 9	21.35	0.00	0.00
Q.PERM	SLE 10	14.23	0.00	0.00

Sollecitazioni N, M, V - Combinazioni statiche

	N (kN)	V (kN)	M (kNm)
SISMA 1	21.35	12.24	43.59
SISMA 2	21.35	-12.24	-43.59

Sollecitazioni N, M, V - Combinazioni Sismiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 64 di 83

9.2 Verifica montante HEB 240 barriera ML7

9.2.1 Verifica di resistenza

Profilo	HEB240		
H	240	mm	
t _{anima}	10	mm	
A _s	10600	mm ²	Area
J _s	112590000	mm ⁴	Momento di inerzia
W _s	938000	mm ³	Momento statico
A _{s,t}	2400	mm ²	Area di taglio
f _{yk}	355.0	MPa	Tensione di snervamento caratteristica
f _{yd}	338.1	MPa	Tensione di snervamento di progetto
E _s	210000	MPa	Modulo elastico acciaio

Azioni di progetto - Verifiche

	N	V	M	$\sigma=N/A+M/W$	$\tau=V/A_t$	σ_{id}	f_{yd}	
	[KN]	[KN]	[kNm]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	[Mpa]	
Nmax	23.07	58.47	166.6	179.8	24.4	184.7	< 338.1	VERIFICATO
Nmin	11.39	-58.47	-166.6	178.7	24.4	183.6	< 338.1	VERIFICATO
Vmax	23.07	58.47	166.6	179.8	24.4	184.7	< 338.1	VERIFICATO
Mmax	23.07	58.47	166.6	179.8	24.4	184.7	< 338.1	VERIFICATO
Mmin	15.38	-58.47	-166.6	179.1	24.4	184.0	< 338.1	VERIFICATO

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	65 di 83

9.2.2 Verifica a fatica base montante in acciaio

Il valore di sollecitazione è pari al momento alla base di una mensola (montante) soggetta ad un carico uniformemente distribuito dovuto a S160:

$$p = 0.3 \text{ kN/mq} \times 2\text{m} = 0.6 \text{ kN/m} \quad \text{carico uniforme sul montante}$$

$$H = 5.7\text{m} \quad \text{altezza montante}$$

$$M = p H^2/2 = 9.75 \text{ kNm}$$

Al valore del momento flettente corrisponde la seguente tensione normale:

$$\sigma_{\max} = M/W = 10.4 \text{ MPa}$$

Il valore di progetto della massima escursione di tensione normale è pari a 2 volte il valore della tensione indotta dall'azione aerodinamica del treno:

$$\Delta_d = \Delta\sigma_{\max} = 2 \sigma_{\max} = 20.8 \text{ MPa}$$

Il dettaglio costruttivo utilizzato per la verifica è di un tirafondo soggetto a trazione, classe di resistenza **63MPa**:

$$\Delta_R = \Delta\sigma_d = 63 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_d / \gamma_M = 63 / 1.35 = 46.7 \text{ MPa}$$

Verifica:

$$\Delta\sigma_{\max} < \Delta\sigma_d / \gamma_M = 20.8 \text{ MPa} < 46.7 \text{ MPa} \quad \textbf{VERIFICATA}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 66 di 83

9.3 Verifica montante HEB 240 barriera ML10

9.3.1 Verifica di resistenza

Profilo	HEB240	
H	240	mm
t _{anima}	10	mm
A _s	10600	mm ² Area
J _s	112590000	mm ⁴ Momento di inerzia
W _s	938000	mm ³ Momento statico
A _{s,t}	2400	mm ² Area di taglio
f _{yk}	355.0	MPa Tensione di snervamento caratteristica
f _{yd}	338.1	MPa Tensione di snervamento di progetto
E _s	210000	MPa Modulo elastico acciaio

Azioni di progetto - Verifiche

	N [KN]	V [KN]	M [kNm]	$\sigma=N/A+M/W$ [Mpa]	$\tau=V/A_t$ [Mpa]	σ_{id} [Mpa]	f_{yd} [Mpa]	
N _{max}	28.82	75.35	268.2	288.7	31.4	293.8	< 338.1	VERIFICATO
N _{min}	14.23	-75.35	-268.2	287.3	31.4	292.4	< 338.1	VERIFICATO
V _{max}	28.82	75.35	268.2	288.7	31.4	293.8	< 338.1	VERIFICATO
M _{max}	28.82	75.35	268.2	288.7	31.4	293.8	< 338.1	VERIFICATO
M _{min}	19.21	-75.35	-268.2	287.8	31.4	292.9	< 338.1	VERIFICATO

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	67 di 83

9.3.2 Verifica a fatica base montante in acciaio

Il valore di sollecitazione è pari al momento alla base di una mensola (montante) soggetta ad un carico uniformemente distribuito dovuto a S150:

$$p = 0.25 \text{ kN/mq} \times 2\text{m} = 0.5 \text{ kN/m} \quad \text{carico uniforme sul montante}$$

$$H = 7.12\text{m} \quad \text{altezza montante}$$

$$M = p H^2/2 = 12.67 \text{ kNm}$$

Al valore del momento flettente corrisponde la seguente tensione normale:

$$\sigma_{\max} = M/W = 13.5 \text{ MPa}$$

Il valore di progetto della massima escursione di tensione normale è pari a 2 volte il valore della tensione indotta dall'azione aerodinamica del treno:

$$\Delta_d = \Delta\sigma_{\max} = 2 \sigma_{\max} = 27 \text{ MPa}$$

Il dettaglio costruttivo utilizzato per la verifica è di un tirafondo soggetto a trazione, classe di resistenza **63MPa**:

$$\Delta_R = \Delta\sigma_d = 63 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_d / \gamma_M = 63 / 1.35 = 46.7 \text{ MPa}$$

Verifica:

$$\Delta\sigma_{\max} < \Delta\sigma_d / \gamma_M = 27 \text{ MPa} < 46.7 \text{ MPa} \quad \textbf{VERIFICATA}$$

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 68 di 83

9.4 Verifica nodo di base barriera ML 7

La base del montante è collegata da una unione bullonata alla sommità del muro in cemento armato sottostante.

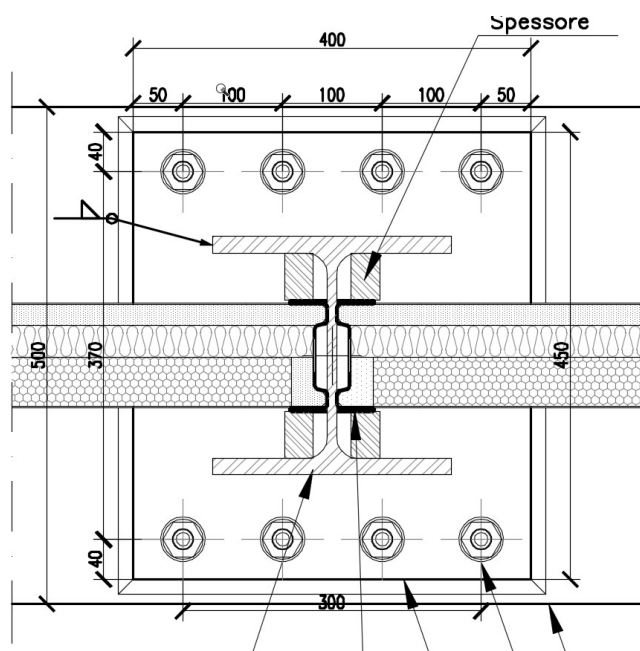


Figura 10: Particolare piastra di base

Caratteristiche unione

- Dimensioni piastra Dim. 400 x 450 mm
- Spessore piastra $s = 30 \text{ mm}$
- N. tirafondi 8 (4+4)
- Diametro tirafondi $\phi 22$
- Classe tirafondi: 8.8 $f_{tb}=900\text{MPa}$
- Lunghezza tirafondi $L = 60,0 \text{ cm}$

<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	69 di 83

9.4.1 Verifica del calcestruzzo

I valori di sollecitazione sono:

$$N = 23,07 \text{ kN}$$

$$M = 166.64 \text{ kNm}$$

Titolo: Piastra di Base

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 8 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	45
3	40	45
4	40	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3.8	5	4
2	3.8	15	4
3	3.8	25	4
4	3.8	35	4
5	3.8	5	41
6	3.8	15	41

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 23.07 23.07 kN
M_{Ed} 166.64 166.64 kNm
M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo Sezione
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.

Metodo di calcolo
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

Materiali
Bulloni 8.8 C32/40
ε_{su} 67.5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 512 N/mm² ε_{cu} 3.5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18.81
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 2.56 ‰ σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 0 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

σ_c -10.54 N/mm²
σ_s 293.7 N/mm²
ε_s 1.468 ‰
d 41.18 cm
x 14.42 x/d 0.35
δ 0.8776

Verifica
N° iterazioni: 4
☐ Precompresso

La tensione massima agente sul calcestruzzo risulta pari a:

$$\sigma_c = 10.54 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \times f_{ck} = 14.94 \text{ N/mm}^2$$

VERIFICATO

9.4.2 Verifica dei tirafondi soggetti a trazione e taglio

VERIFICA A TRAZIONE

Dalla verifica precedente è risultata una tensione di trazione massima sui tirafondi pari a $\sigma_s = 294 \text{ N/mm}^2$.

L'area resistente del tirafondo M 22 è pari a $A_{res} = 303 \text{ mm}^2$.

La resistenza di calcolo a trazione è valutata secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", par. 4.2.8.1.1:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 71 di 83

$F_{V,Ed}$ 7.31 kN < $F_{t,Rd}$ 96.96 MPa VERIFICATO A
 TAGLIO

VERIFICA PRESENZA COMBINATA TRAZIONE E TAGLIO

La verifica per la presenza combinata di trazione e taglio sul tirafondo è stata condotta secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 4.2.8.1.1:

$$\frac{F_{t,Ed}}{1,40 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,00$$

Risulta pertanto:

$F_{t,Ed}$ 89.08 kN
 $F_{V,Ed}$ 7.31 kN
 $F_{t,Rd}$ 174.53 kN
 $F_{V,Rd}$ 96.96 kN

0.440 < 1 VERIFICATO A TRAZIONE-TAGLIO

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 72 di 83

9.4.3 Verifica a fatica dei tirafondi

Per le strutture soggette a carichi ciclici deve essere verificata la resistenza a fatica imponendo che:

$$\Delta_d \leq \Delta_R / \gamma_M$$

- Δ_d l'escursione di tensione prodotta dalle azioni cicliche di progetto che inducono fenomeni di fatica;
- Δ_R la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi

Tabella 4.2.IX Coefficienti di sicurezza da assumere per le verifiche a fatica.

Criteri di valutazione	Conseguenze della rottura	
	Conseguenze moderate	Conseguenze significative
Danneggiamento accettabile	$\gamma_M = 1,00$	$\gamma_M = 1,15$
Vita utile a fatica	$\gamma_M = 1,15$	$\gamma_M = 1,35$

Nel caso in esame la verifica a fatica si effettua considerando il montante soggetto alle azioni aerodinamiche prodotte al passaggio dei treni.

Il valore di sollecitazione è pari al momento alla base di una mensola (montante) soggetta ad un carico uniformemente distribuito:

$$p = 0.3 \text{ kN/mq} \times 2\text{m} = 0.6 \text{ kN/m} \quad \text{carico uniforme sul montante}$$

$$H = 5.7\text{m} \quad \text{altezza montante}$$

$$M = p H^2/2 = 9.75 \text{ kNm}$$

In cui $0,3 \text{ kN/m}^2$ è la pressione relativa all'azione aerodinamica.

La tensione sul singolo tirafondo è ricavato considerando una sezione in c.a. di dimensioni pari alla piastra di base con armatura pari al numero di tirafondi presenti:

**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	73 di 83

Titolo: Piastra di Base

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 8 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	45
3	40	45
4	40	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3.8	5	4
2	3.8	15	4
3	3.8	25	4
4	3.8	35	4
5	3.8	5	41
6	3.8	15	41

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 23.07 0 kN
M_{xEd} 166.64 9.75 kNm
M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
 Rettangoli Coord.

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

Materiali
Bulloni 8.8 C32/40

E_{su} 67.5 % E_{c2} 2 %
f_{yd} 512 N/mm² E_{cu} 3.5 %
E_s 200,000 N/mm² f_{cd} 18.81
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
E_{syd} 2.56 % σ_{c,adm} 12.25
σ_{s,adm} 0 N/mm² τ_{co} 0.7333
τ_{c1} 2.114

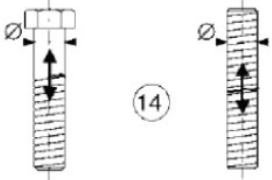
σ_c -0.6108 N/mm²
σ_s 17.59 N/mm²
ε_s 0.08794 %
d 41.18 cm
x 14.1 x/d 0.3425
δ 0.8681

Verifica
N° iterazioni: 4
Precompresso

Il valore di tensione di trazione per ciascun tirafondo vale:

$$\Delta_d = \Delta_{\sigma, \max} = 17.6 \text{ MPa}$$

Il dettaglio costruttivo utilizzato per la verifica è di un tirafondo soggetto a trazione, classe di resistenza **50MPa**.

50		14) Bulloni e barre filettate e soggetti a trazione. Per bulloni di diametro $\phi > 30$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_t = (30/\phi)^{0.25}$	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione della parte filettata, considerando gli effetti dovuti all'effetto leva e alla flessione ulteriore. Per bulloni precaricati i $\Delta\sigma$ possono essere ridotti.
----	---	---	---

$$\Delta_R = \Delta\sigma_d = 50 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_d / \gamma_M = \frac{50 \text{ MPa}}{1.35} = 37.03 \text{ MPa}$$

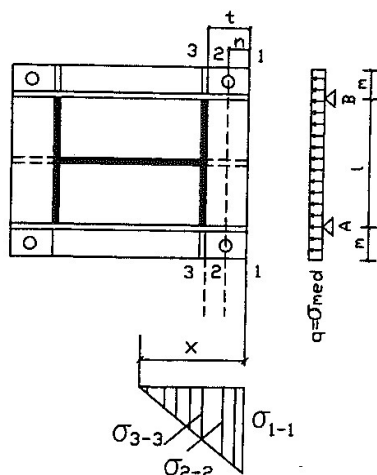
Verifica:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 74 di 83

$$\Delta\sigma_{\max} < \Delta\sigma_d / \gamma_M = 17.6 \text{ MPa} < 37.03 \text{ MPa} \quad \text{VERIFICATA}$$

9.4.4 Verifica della piastra di base

A favore di sicurezza la piastra di base si considera caricata da una tensione media pari alla massima tensione calcolata sul calcestruzzo nei precedenti paragrafi.

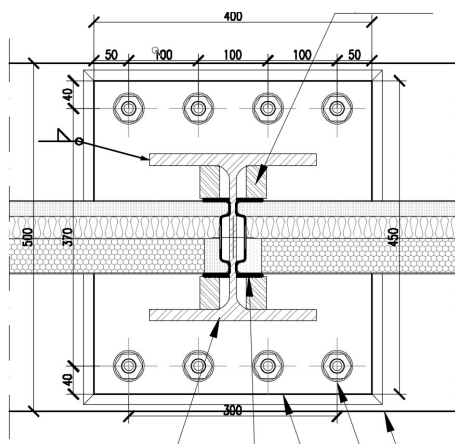


La tensione massima sul calcestruzzo viene pertanto assunta pari a $\sigma_c = 10.54 \text{ N/mm}^2$.

La tensione media per unità di lunghezza viene dunque assunta pari a:

$$q = n \times \sigma_c = 400 \times 10.54 = 4743 \text{ N/mm}$$

La geometria della piastra di specie è la seguente:



<div><div>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	75 di 83

Come schema statico di calcolo si assume quello di trave continua su 3 campate con estremi a sbalzo.

Gli appoggi intermedi sono costituiti dalle ali del montante.

La lunghezza degli sbalzi risulta pari a $m = 40$ mm, mentre la “l” lunghezza della campata centrale è assunta pari a $l = 370$ mm.

Il momento flettente massimo è valutato mediante la seguente relazione:

$$M_{\max} = \min\left[\frac{q \cdot l^2}{8} - \frac{q \cdot m^2}{2}; \frac{q \cdot m^2}{2}\right]$$

Il momento flettente massimo agente sulla piastra vale pertanto:

$$M_{\max} = 3.79 \text{ kNm} = 3794400 \text{ Nmm}$$

Il modulo di resistenza della piastra viene calcolato sulla sezione netta (al netto dei fori) e vale:

$$W = bh^2/6 - n_b d_f h^2 / 6 = 46500 \text{ mm}^3$$

Con:

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 30 \text{ mm}$$

$$n_b = 4$$

$$d_f = 22.5 \text{ mm}$$

La tensione massima sulla piastra di base vale dunque:

$$\sigma_{s,\max} = M_{\max} / W = 72.53 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} = 261,9 \text{ N/mm}^2.$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.

	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 76 di 83

9.5 Verifica nodo di base barriera ML 10

La base del montante è collegata da una unione bullonata alla sommità del muro in cemento armato sottostante.

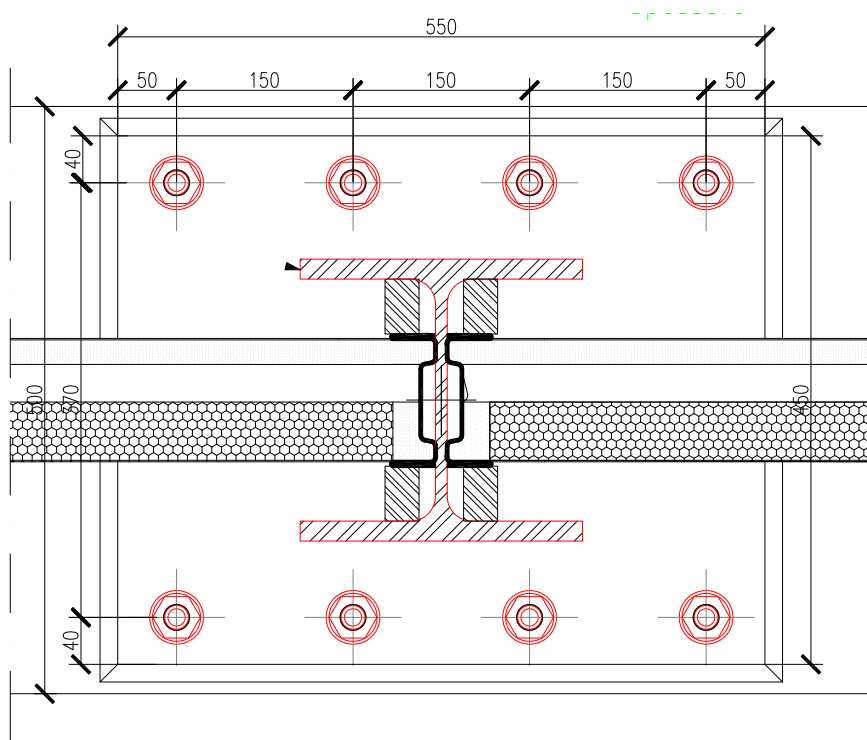


Figura 11: Particolare piastra di base

Caratteristiche unione

- Dimensioni piastra Dim. 550 x 450 mm
- Spessore piastra s = 30 mm
- N. tirafondi 8 (4+4)
- Diametro tirafondi $\phi 22$
- Classe tirafondi: 8.8 $f_{tb}=900\text{MPa}$
- Lunghezza tirafondi L = 60,0 cm

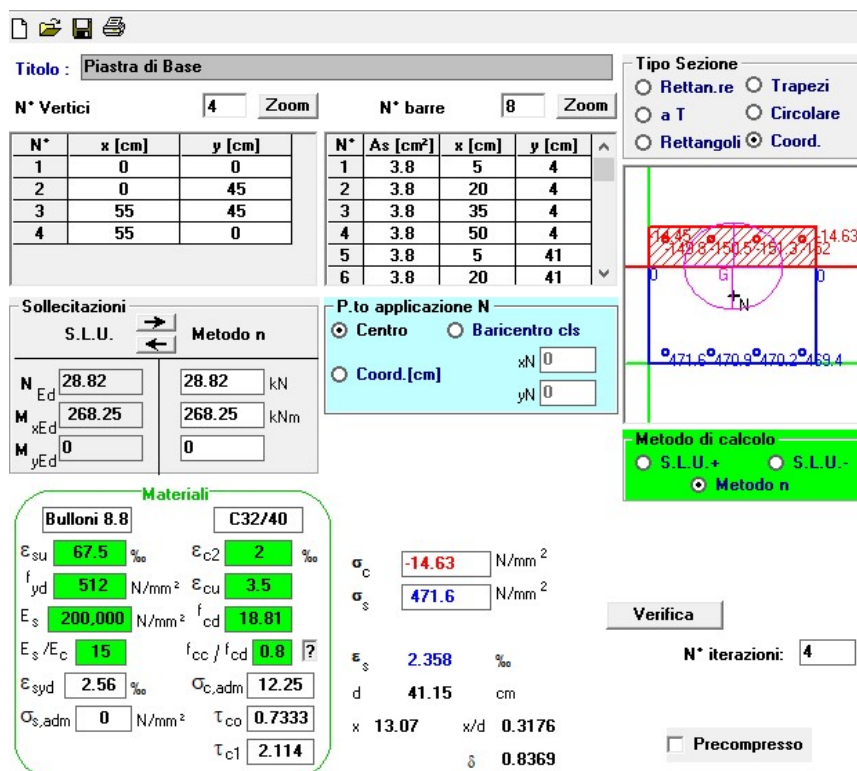
 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA</p> <p>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</p>					
	<p>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</p>					
<p>COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO</p> <p>D14Z 02 D22 CLIF0100004 A 77 di 83</p>						

9.5.1 Verifica del calcestruzzo

I valori di sollecitazione sono:

$$N = 28.82 \text{ kN}$$

$$M = 268.25 \text{ kNm}$$



Titolo: Piastra di Base

N° Vertici: 4 **N° barre:** 8

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	45
3	55	45
4	55	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3.8	5	4
2	3.8	20	4
3	3.8	35	4
4	3.8	50	4
5	3.8	5	41
6	3.8	20	41

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 28.82 kN
M_{Ed}: 268.25 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

Materiali: Bulloni 8.8 C32/40

Calcoli:
 $\sigma_c = -14.63 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_s = 471.6 \text{ N/mm}^2$
 $\epsilon_s = 2.358 \text{ ‰}$
 $d = 41.15 \text{ cm}$
 $x = 13.07 \text{ cm}$
 $x/d = 0.3176$
 $\delta = 0.8369$

Verifica: N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

La tensione massima agente sul calcestruzzo risulta pari a:

$$\sigma_c = 14.63 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 14.94 \text{ N/mm}^2 \quad \text{VERIFICATO}$$

9.5.2 Verifica dei tirafondi soggetti a trazione e taglio

VERIFICA A TRAZIONE

Dalla verifica precedente è risultata una tensione di trazione massima sui tirafondi pari a $\sigma_s = 471.6 \text{ N/mm}^2$.

L'area resistente del tirafondo M 22 è pari a $A_{res} = 303 \text{ mm}^2$.

<div><div>ITALFERR</div><div>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</div></div>	<div>PROGETTO RISANANMENTO ACUSTICO</div> <div>COMUNE DI CASCINA</div> <div>CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031</div>					
<div>RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA</div>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	D14Z	02	D22	CLIF0100004	A	78 di 83

La resistenza di calcolo a trazione è valutata secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 4.2.8.1.1:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

σ 471.6 MPa Tensione tirafondo
 A_{res} 303 mm²
 $F_{t,Ed}$ 142.89 kN Trazione sul tirafondo = $\sigma \times A_{res}$

f_{tb} 800 MPa
 γ_{M2} 1.25
 $F_{t,Rd}$ 174.53 kN

$F_{t,Ed}$ 142.89 kN < $F_{t,Rd}$ 174.5 kN VERIFICATO A TRAZIONE

VERIFICA A TAGLIO

Il valore massimo del taglio, alla base della barriera, risulta:

$$V = 75.35 \text{ KN}$$

La risultante massima di taglio sul singolo tirafondo vale pertanto:

$$F_{V,Ed} = 75.35 / 8 = 9.42 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a taglio è valutata secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 4.2.8.1.1:

$$F_{V,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{tb} \cdot A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

V 75.35 kN
 n. tirafondi 8
 $F_{V,Ed}$ 9.42 kN = V / n . Tirafondi

f_{tb} 800 MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 79 di 83

γ_{M2} 1.25

$F_{V,Rd}$ 96.96 kN

$F_{V,Ed}$ 9.42 kN < $F_{t,Rd}$ 96.96 MPa VERIFICATO A TAGLIO

VERIFICA PRESENZA COMBINATA TRAZIONE E TAGLIO

La verifica per la presenza combinata di trazione e taglio sul tirafondo è stata condotta secondo quanto previsto dal D.M. 14.01.2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, par. 4.2.8.1.1:

$$\frac{F_{t,Ed}}{1,40 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1,00$$

Risulta pertanto:

$F_{t,Ed}$ 142.89 kN

$F_{V,Ed}$ 9.42 kN

$F_{t,Rd}$ 174.53 kN

$F_{V,Rd}$ 96.96 kN

0.682 < 1 VERIFICATO A TRAZIONE-TAGLIO

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 80 di 83

9.5.3 Verifica a fatica dei tirafondi

Per le strutture soggette a carichi ciclici deve essere verificata la resistenza a fatica imponendo che:

$$\Delta_d \leq \Delta_R / \gamma_M$$

- Δ_d l'escursione di tensione prodotta dalle azioni cicliche di progetto che inducono fenomeni di fatica;
- Δ_R la resistenza a fatica per la relativa categoria dei dettagli costruttivi

Tabella 4.2.IX Coefficienti di sicurezza da assumere per le verifiche a fatica.

Criteri di valutazione	Conseguenze della rottura	
	Conseguenze moderate	Conseguenze significative
Danneggiamento accettabile	$\gamma_M = 1,00$	$\gamma_M = 1,15$
Vita utile a fatica	$\gamma_M = 1,15$	$\gamma_M = 1,35$

Nel caso in esame la verifica a fatica si effettua considerando il montante soggetto alle azioni aerodinamiche prodotte al passaggio dei treni.

Il valore di sollecitazione è pari al momento alla base di una mensola (montante) soggetta ad un carico uniformemente distribuito:

$$p = 0.25 \text{ kN/mq} \times 2\text{m} = 0.5 \text{ kN/m} \quad \text{carico uniforme sul montante}$$

$$H = 7.12\text{m} \quad \text{altezza montante}$$

$$M = p H^2/2 = 12.67 \text{ kNm}$$

In cui 0.25 kN/m^2 è la pressione relativa all'azione aerodinamica.

La tensione sul singolo tirafondo è ricavato considerando una sezione in c.a. di dimensioni pari alla piastra di base con armatura pari al numero di tirafondi presenti:

**RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA
LEGGERA**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
D14Z 02 D22 CLIF0100004 A 81 di 83

Titolo: Piastra di Base

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 8 **Zoom**

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	0	45
3	55	45
4	55	0

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	3.8	5	4
2	3.8	20	4
3	3.8	35	4
4	3.8	50	4
5	3.8	5	41
6	3.8	20	41

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N Ed 28.82 **0** kN
M xEd 268.25 **12.7** kNm
M yEd 0 **0**

P.to applicazione N:
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo Sezione:
☐ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.

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

Materiali:
Bulloni 8.8 **C32/40**
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 512 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18.81
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 2.56 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12.25
 $\sigma_{s,adm}$ 0 N/mm² τ_{co} 0.7333
 τ_{c1} 2.114

σ_c -0.6881 N/mm²
 σ_s 22.74 N/mm²

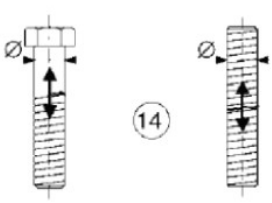
Verifica
N° iterazioni: 4
☐ Precompresso

ϵ_s 0.1137 ‰
 d 41.15 cm
 x 12.84 x/d 0.3121
 δ 0.8302

Il valore di tensione di trazione per ciascun tirafondo vale:

$$\Delta_d = \Delta_{\sigma, \max} = 22.74 \text{ MPa}$$

Il dettaglio costruttivo utilizzato per la verifica è di un tirafondo soggetto a trazione, classe di resistenza **50MPa**.

50		14) Bulloni e barre filettate e soggetti a trazione. Per bulloni di diametro $\phi > 30$ mm, si deve adottare una classe ridotta del coefficiente $k_z = (30/\phi)^{0.25}$	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione della parte filettata, considerando gli effetti dovuti all'effetto leva e alla flessione ulteriore. Per bulloni precaricati i $\Delta\sigma$ possono essere ridotti.
----	---	---	---

$$\Delta_R = \Delta\sigma_d = 50 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_d / \gamma_M = \frac{50 \text{ MPa}}{1.35} = 37.03 \text{ MPa}$$

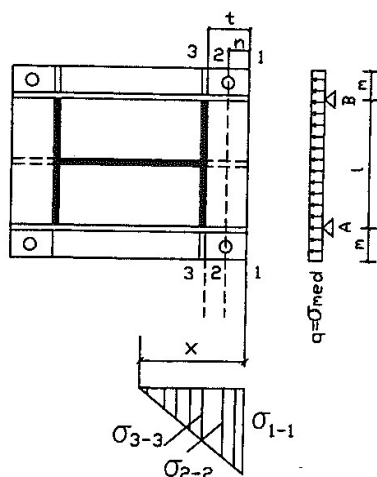
Verifica:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 82 di 83

$$\Delta\sigma_{\max} < \Delta\sigma_d / \gamma_M = 22.74 \text{ MPa} < 37.03 \text{ MPa} \quad \text{VERIFICATA}$$

9.5.4 Verifica della piastra di base

A favore di sicurezza la piastra di base si considera caricata da una tensione media pari alla massima tensione calcolata sul calcestruzzo nei precedenti paragrafi.

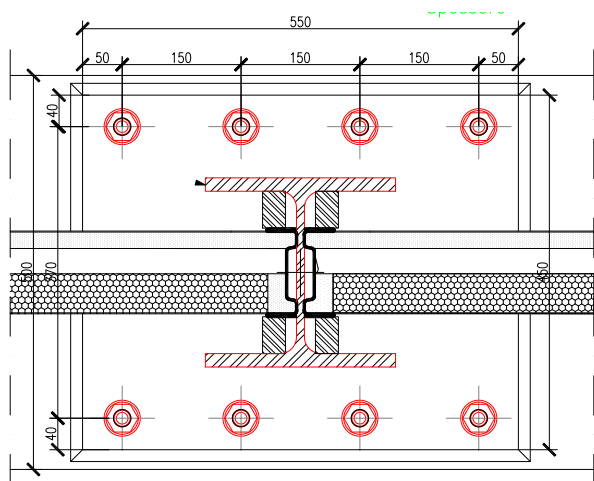


La tensione massima sul calcestruzzo viene pertanto assunta pari a $\sigma_c = 14.63 \text{ N/mm}^2$.

La tensione media per unità di lunghezza viene dunque assunta pari a:

$$q = n \times \sigma_c = 550 \times 14.63 = 8047 \text{ N/mm}$$

La geometria della piastra di specie è la seguente:



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO RISANAMENTO ACUSTICO COMUNE DI CASCINA CODICI INTERVENTO 050008015 - 050008016 - 050008024 - 050008031					
RELAZIONE DI CALCOLO BA METALLICA LEGGERA	COMMESSA D14Z	LOTTO 02	CODIFICA D22	DOCUMENTO CLIF0100004	REV. A	FOGLIO 83 di 83

Come schema statico di calcolo si assume quello di trave continua su 3 campate con estremi a sbalzo.

La lunghezza degli sbalzi risulta pari a $m = 40$ mm, mentre la “l” lunghezza della campata centrale è assunta pari a $l = 370$ mm.

Il momento flettente massimo è valutato mediante la seguente relazione:

$$M_{\max} = \min\left[\frac{q \cdot l^2}{8} - \frac{q \cdot m^2}{2}; \frac{q \cdot m^2}{2}\right]$$

Il momento flettente massimo agente sulla piastra vale pertanto:

$$M_{\max} = 6.44 \text{ kNm} = 6437200 \text{ Nmm}$$

Il modulo di resistenza della piastra viene calcolato sulla sezione netta (al netto dei fori) e vale:

$$W = bh^2/6 - n_b d_f h^2 / 6 = 54000 \text{ mm}^3$$

Con:

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 30 \text{ mm}$$

$$n_b = 4$$

$$d_f = 22.5 \text{ mm}$$

La tensione massima sulla piastra di base vale dunque:

$$\sigma_{s,\max} = M_{\max} / W = 104.7 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} = 261.9 \text{ N/mm}^2.$$

La verifica risulta pertanto soddisfatta.