

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria

Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

BARRIERE ANTIRUMORE  
Relazione di calcolo fondazioni BA H3- H7

L'Appaltatore  
Ing. Gianguido Babini

A.A. D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.p.A.  
Il Direttore Tecnico  
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)  
Ing. Massimo Facchini

Data Ott. 2023

firma

Data Ott. 2023

firma



COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I O B	0 2	E	Z Z	C L	B A 0 2 0 0	0 0 2	C	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione Esecutiva	G. Di Marco	Dic. 2022	M. Esposito	Dic. 2022	F. Pirone	Dic. 2022	
B	Risposta alla RDV: LI0B-RV-0000000314	G. Di Marco	Apr. 2023	M. Esposito	Apr. 2023	F. Pirone	Apr. 2023	
C	Risposta alla RDV: LI0B-RV-0000000354	G. Di Marco	Ott. 2023	M. Esposito	Ott. 2023	F. Pirone	Ott. 2023	

File: LI0B02EZZCLBA0200002C

n. Elab.

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	1

## INDICE

<b>1.. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
3.1 Documenti Referenziati .....	6
3.2 Unità di misura .....	6
<b>4.. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>7</b>
4.1 Calcestruzzo .....	7
4.2 Acciaio .....	8
<b>5.. ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO .....</b>	<b>9</b>
5.1 Pesì Propri .....	9
5.2 Carichi variabili .....	11
5.3 Azioni Sismiche .....	16
<b>6.. COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>17</b>
<b>7.. FONDAZIONI .....</b>	<b>20</b>
<b>8.. MICROPALI .....</b>	<b>21</b>
<b>9.. RIEPILOGO AZIONI .....</b>	<b>24</b>
<b>10. VERIFICA PALI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>25</b>
10.1 Verifica capacità portante .....	25
10.2 Verifica carico limite orizzontale .....	28
10.3 Verifiche strutturali su micropalo .....	33
10.4 Verifiche cedimenti .....	35
<b>11. VERIFICA CORDOLO DI FONDAZIONE .....</b>	<b>36</b>
11.1 Calcolo sollecitazioni agenti .....	36
11.2 Parametri sezione .....	37
11.3 Verifiche SLU .....	38
11.4 Verifiche SLE .....	41

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>2</b>

## 1. PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto esecutivo del corpo stradale ferroviario, delle opere d'arte e delle opere interferite relative al raddoppio ferroviario della Linea Bari - Pescara nella tratta Termoli - Ripalta, per uno sviluppo complessivo di 24.930,52 km.

L'opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra fra quelle inserite nella categoria denominata "BARRIERE ANTIRUMORE" relative alle barriere antirumore di prevista installazione lungo tutto il tracciato.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all'opera.

Nella presente relazione si dimensionano le fondazioni delle barriere antirumore su rilevato tipo H3-H7, (BM 110) previste su tutta la tratta in progetto di cui in tabella si riporta il dettaglio:

**LINEA PESCARA – BARI**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA  
LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA**

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>3</b>

**BINARIO DISPARI**

Nome BA	Altezza BA	Tipologia	PK iniziale	PK finale	Note
BA-D_001A - H7 - L.190m	5.91	H7 RILEVATO	0+160.54	0+351.00	
BA-D_001B - H2 - L.229m	2.98	H2 RILEVATO	0+470.96	0+700.00	
BA-D_002 - H3 - L.126m	3.95	H3 RILEVATO	2+608.86	2+735.00	
BA-D_004 - H0 - L.126m	2	H0 VIADOTTO	4+247.33	4+372.95	
BA-D_006 - H2 - L.311m	2.98	H2 RILEVATO	8+912.23	9+223.62	
BA-D_007 - H0 - L.78m	2	H0 IN TOP TRINCEA	17+717.87	17+794.80	
BA-D_008 - H3 - L.225m	3.95	H3 RILEVATO	17+835.00	18+060.20	
BA-D_009 - H0 - L.29m	2	H0 VIADOTTO	18+059.40	18+088.35	
BA-D_010 - H0 - L.267m	2	H0 RILEVATO	18+087.84	18+355.14	

**BINARIO PARI**

Nome BA	Altezza BA	Tipologia	PK iniziale	PK finale	Note
BA-P_001A - H5 - L.228m	4.93	H5 RILEVATO	0+049.38	0+275.57	
BA-P_001B - H8 - L.124	6.4	H8 RILEVATO	0+275.57	0+399.34	Barriera integrata con la linea TE
BA-P_001C - H8 - L.276	6.4	H8 RILEVATO	0+399.34	0+675.20	Barriera integrata con la linea TE
BA-P_001D - H9 - L.625m	6.89	H9 RILEVATO	0+675.20	1+298.40	Barriera integrata con la linea TE
BA-P_002A - H10 - L.125	7.38	H10 IN TOP TRINCEA	1+265,5	1+390,5	
BA-P_002B - H2 - L.366	2.98	H2 IN TOP TRINCEA	1+390,5	1+756,5	
BA-P_003 - H6 - L.159	5.42	H6 IN TOP TRINCEA	1+756,5	1+916,5	
BA-P_004 - H0 - L.219m	2	H0 IN TOP TRINCEA	1+916,5	2+135,5	
BA-P_005 - H5 - L.102m	4.93	H5 SU CORDOLO PARATIA	2+381.93	2+473.35	h=5m dal cordolo della paratia
BA-P_006 - H10 - L.110m	7.38	H10 IN TOP TRINCEA	2+624.23	2+734.24	
BA-P_007 - H0 - L.140m	2	H0 VIADOTTO	3+316.00	3+456.35	
BA-P_008 - H4 - L.257m	4.44	H4 VIADOTTO	3+723.00	3+980.00	
BA-P_009 - H2 - L.102m	2.98	H2 RILEVATO	7+291.00	7+381.45	16,0m su marciapiede
BA-P_010 - H0 - L.115m	2	H0 IN TOP TRINCEA	8+053.18	8+168.18	
BA-P_011 - H4 - L.171m	3.95	H4 RILEVATO	8+913.00	9+084.00	
BA-P_012 - H3 - L.229m	3.95	H3 RILEVATO	9+195.84	9+417.26	
BA-P_013 - H1 - L.228m	2.49	H1 RILEVATO	9+971.35	10+200.00	
BA-P_014 - H2 - L.399m	2.98	H2 RILEVATO	10+200.00	10+598.57	
BA-P_015 - H2 - L.317m	2.98	H2 RILEVATO	10+926.00	11+242.75	
BA-P_016 - H1 - L.165m	2.49	H1 RILEVATO	12+363.15	12+527.90	



BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	5

## 2. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la descrizione dettagliata delle caratterizzazioni geotecniche lungo la tratta si rimanda alla Relazione geotecnica Generale (doc LI0BEZZRBGE0005001).

Per il dimensionamento della barriera antirumore, essendo rappresentativo dell'intera tratta, si è fatto riferimento alla stratigrafia maggiormente cautelativa, rappresentata dalla parte iniziale della tratta, tra pk 1+700 e 2+700.

	<b>Unità geotecnica</b>	<b>Profondità [m]</b>	<b><math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>]</b>	<b><math>\phi'</math> [°]</b>	<b>cu [kPa]</b>	<b>Nspt [-]</b>
CGC1g	Ghiaia sabbiosa	Da 0.0 a 9.0	19.5	39	-	27 – R
SSR	Sabbia, Sabbia limosa	Da 9.0 a 15.0	19.5	35	-	10 – R

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>6</b>

### 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

#### 3.1 DOCUMENTI REFERENZIATI

Di seguito si riporta l'elenco generale delle Normative Nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento, quale riferimento per la redazione degli elaborati tecnici e/o di calcolo dell'intero progetto nell'ambito della quale si inserisce l'opera oggetto della presente relazione:

- [N.1]. L. n. 64 del 2/2/1974“Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- [N.2]. L. n. 1086 del 5/11/1971“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- [N.3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- [N.4]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- [N.5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [N.6]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [N.7]. RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22-12-17 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N.8]. CNR-DT207/2008 Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- [N.9]. UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

#### 3.2 UNITÀ DI MISURA

Le unità di misura usate nella relazione:

lunghezze [m]; forze [kN]; momenti [kNm] tensioni [Mpa]



 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>8</b>

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$  – Resistenza di calcolo a trazione = 1 N/mm<sup>2</sup>

$f_{cfm} = 1.2 \cdot f_{ctm}$  – Resistenza media a trazione per flessione = 2.6 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{cfm}$  – Resistenza cilindrica caratteristica a trazione = 1.8 N/mm<sup>2</sup>

$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3}$  – Modulo elastico = 29962 N/mm<sup>2</sup>

Peso proprio  $\gamma_c = 25000$  N/m<sup>3</sup>

Coefficiente di Poisson:

Secondo quanto prescritto al punto 11.2.10.4 della NTC2008, per il coefficiente di Poisson può adottarsi, a seconda dello stato di sollecitazione, un valore compreso tra 0 (calcestruzzo fessurato) e 0.2 (calcestruzzo non fessurato).

## 4.2 ACCIAIO

### 4.2.1 Acciaio per cemento armato

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

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

#### 4.2.1.9 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,  $\sigma_s$  per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,75 f_{yk} = 0,75 \cdot 450 = 337,5 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{tensione massima di esercizio per l'acciaio.}$$

### 4.2.2 Acciaio da carpenteria metallica

Si prescrive l'utilizzo di profilati in acciaio laminati a caldo **S275**:

Tensione di snervamento	$f_{yk} \leq 275$ N/mm <sup>2</sup> ;
Tensione di rottura	$f_{tk} \leq 430$ N/mm <sup>2</sup> ;
Modulo elastico	$E = 210.000$ N/mm <sup>2</sup> ;
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$ ;
Modulo di elasticità trasversale	$G = E / [2 (1 + \nu)] = 80769.23$ N/m <sup>2</sup> ;
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ per °C-1 (per T fino a 100 °C);
Densità	$\rho = 7.850$ kg/m <sup>3</sup> .

BARRIERE ANTIRUMORE  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	9

## 5. ANALISI DEI CARICHI DI PROGETTO

### 5.1 PESI PROPRI

Per la valutazione dei carichi permanenti e variabili, questi sono desunti dalla relazione delle barriere antirumore del tipologico di RFI.

La barriera in oggetto è la tipologia **H7** ( $h = 5,91\text{m}$  dal p.f.) e saranno considerati i pesi e le relative sollecitazioni di una barriera **H7** montata sul modulo **BM110**

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva delle sollecitazioni con evidenziate le azioni dei pesi propri riferite all'estradosso dello zoccolo del manufatto prefabbricato della barriera:

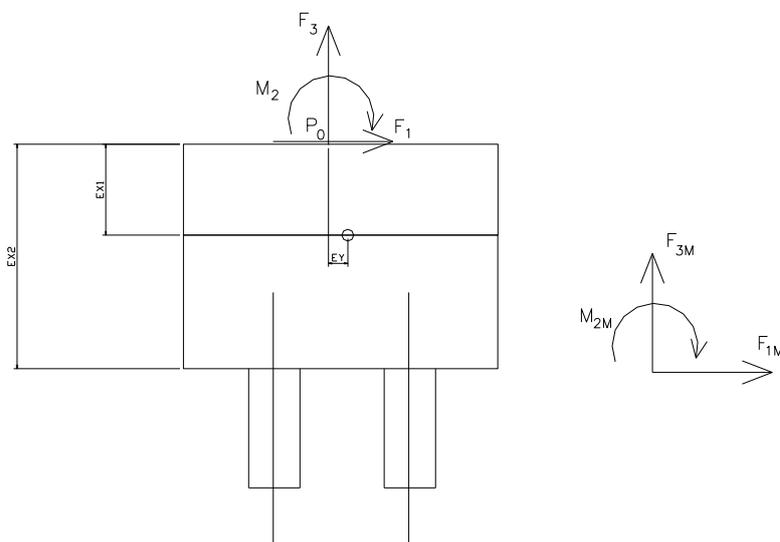


Figura 1: Sistemi di riferimento e punti di verifica

Le azioni agenti in testa ai micropali di fondazione sono date dalla somma dei contributi per le azioni di **un modulo BM110, di un modulo BT95**, dei rispettivi zocchi e del cordolo di fondazione. Di seguito si riportano i singoli contributi:

#### **BM110 + montante – Sollecitazioni ad estradosso zoccolo BM**

	<b>N [kN]</b>	<b>V [kN]</b>	<b>M* [kN*m]</b>
PP BM	-60,14	0,00	3,74
PP <sub>PA</sub>	-6,08	0,00	5,54
PP <sub>PB</sub>	-12,15	0,00	11,08
PP BT95	-41,27	0,00	3,10

Tabella 1: Tabella delle sollecitazioni al piano di incastro per modulo BA-H7 all'estradosso dello zoccolo del manufatto prefabbricato (BM110+BT95)

dove:

PP = peso proprio;

PP<sub>PA</sub> = peso pannelli asciutti;

PP<sub>PB</sub> = peso pannelli bagnati.

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	10

A questi va aggiunto il peso dei seguenti elementi:

- cordolo di fondazione BM110  $1,20 \text{ m} \cdot 3,00 \text{ m} \cdot 0,55 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \rightarrow N_{\text{cordolo}} = -49,50 \text{ kN}$ .

Considerando le eccentricità geometriche si ha:

**Forze statiche a quota testa micropali**

	<b>N [kN]</b>	<b>eccentricità</b>	<b>M* [kN*m]</b>
PP BM	-60,14	0,02	2,54
Pann. asc.	-6,08	0,02	5,42
PP BT95	-41,27	-0,05	5,16
cordolo	-49,50	0,00	0,00

**Forze statiche a quota testa micropali**

	<b>N [kN]</b>	<b>eccentricità</b>	<b>M* [kN*m]</b>
PP BM	-60,14	0,02	2,54
Pann. bagn.	-12,15	0,02	10,84
PP BT95	-41,27	-0,05	5,16
cordolo	-49,50	0,00	0,00

*Tabella 2: Tabella riassuntiva dei carichi statici a quota testa micropali*

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>11</b>

## 5.2 CARICHI VARIABILI

### 5.2.1 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.

#### Pressione cinetica di riferimento:

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  ( $N/m^2$ ) è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \quad \text{dove}$$

$v_b$  = velocità di riferimento del vento (m/s)

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

#### Coefficiente di esposizione:

Il coefficiente d'esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione ( $k_r, z_0, z_{min}$ ).

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>12</b>

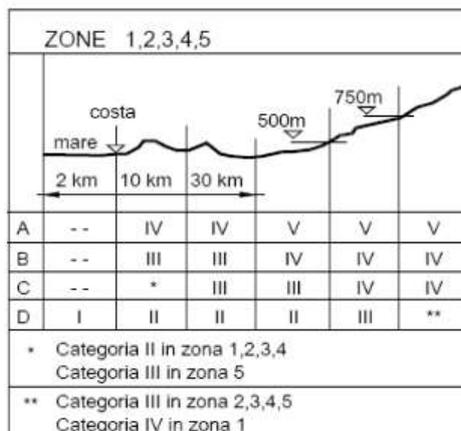


Tabella 3: Definizione della categoria di esposizione

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. NTC08

$k_r$	0,20		Cat. III (D.M.08, Tab 3.3.II)
$z_0$	0,10	m	
$z_{min}$	5,00	m	
$z$	7,23	m	altezza sul suolo del punto considerato (Z)

Tabella 5: Tabella per la determinazione dei parametri  $k_r$ ,  $z_0$  e  $z_{min}$  (cfr. NTC08)

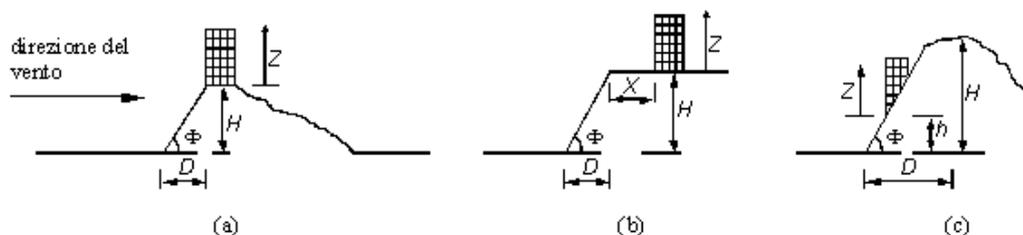
Il valore di  $c_e$  può essere ricavato mediante la relazione:

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

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

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>13</b>

Per il calcolo del coefficiente di topografica  $C_t$  si fa riferimento alla Circolare del D.M. 1996, paragrafo C.7.5.:



Con riferimento alla figura sopra detta  $H$  l'altezza della collina o del dislivello e  $H/D = \tan \Phi$  la sua pendenza media, si introducono preliminarmente:

Il coefficiente  $\beta$ , funzione dell'altezza  $z$  che vale:

- $\beta = 0,5$  per  $z/H \leq 0,75$
- $\beta = 0,8 - 0,4 \cdot z/H$  per  $0,75 < z/H \leq 2$
- $\beta = 0$  per  $z/H > 2$

Il coefficiente  $\gamma$  dipendente dalla pendenza  $H/D$  che vale:

- $\gamma = 0$  per  $H/D \leq 0,10$
- $\gamma = 5 \cdot [(H/D) - 0,10]$  per  $0,10 < H/D \leq 0,30$
- $\gamma = 1$  per  $H/D > 0,30$

In tal modo il coefficiente di topografia  $C_t$  si può esprimere nei seguenti casi:

- Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina  $C_t = 1 + \beta\gamma$
- Costruzioni sul livello superiore di un dislivello  $C_t = 1 + \beta\gamma \cdot [1 - 0,1 \cdot (x/H)] \geq 1$
- Costruzioni su di un pendio  $C_t = C_t = 1 + \beta\gamma \cdot (h/H)$

Alla luce delle prescrizioni illustrate sopra si riporta il calcolo della pressione del vento con i parametri necessari associati.

altitudine sul livello del mare  
zona

as 30 m  
3

parametri

$v_{b,0}$  27 m/s

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>

parametri	$a_0$	500 m
parametri	$k_a$	0.020 1/s
<b>velocità di riferimento (Tr=50 anni)</b>	$v_b = v_{b0} + k_a * (a_s - a_0)$	<b>27 m/s</b>
Vita nominale	VN=	<b>50</b>
	$a_r$	1.00
<b>velocità di riferimento</b>	$v_b$	<b>27.0 m/s</b>
densità dell'aria	$\rho$	1.25 kg/m <sup>3</sup>
<b>pressione cinetica di riferimento</b>	$q_b = 0.5 * \rho * v_b^2$	<b>0.46 kN/m<sup>2</sup></b>
Categoria di esposizione del sito	Cat	<b>1</b>
Altezza della costruzione rispetto al suolo	z	<b>10 m</b>
parametri	$k_r$	0.17
parametri	$z_0$	0.01 m
parametri	$z_{min}$	2 m
parametri	$z_{max}$	200 m
<b>Coefficiente di topografia</b>	$C_t$	<b>1</b>
coeff. di esposizione ( $z \leq z_{min}$ )	$c_e(z_{min})$	1.88
coeff. di esposizione (z)	$c_e(z)$	2.78
coeff. di esposizione	$c_e(z)$	2.78
<b>coefficiente di esposizione</b>	$c_e$	<b>2.78</b>
<b>coefficiente di forma</b>	$c_p$	<b>1.2</b>
<b>coefficiente dinamico</b>	$c_d$	1
<b>pressione del vento</b>	p	<b>1.52 kN/m<sup>2</sup></b>
	totale	1.52 kN/m <sup>2</sup>

Si specifica che il coefficiente di forma  $c_p$  è stato scelto in riferimento alle pareti isolate (§7.4.1) – Zona D (Prospetto 7.9) - E.C.1.

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	15

### Azione aerodinamica dovuta al traffico ferroviario

In accordo con quanto previsto nel “*MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI*” - RFI DTC SICS MA IFS 001 B del 22.12.2017, 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 (5.2.2.7.4 – NTC2008):

Il valore dell'azione  $\pm q_{1k}$  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.

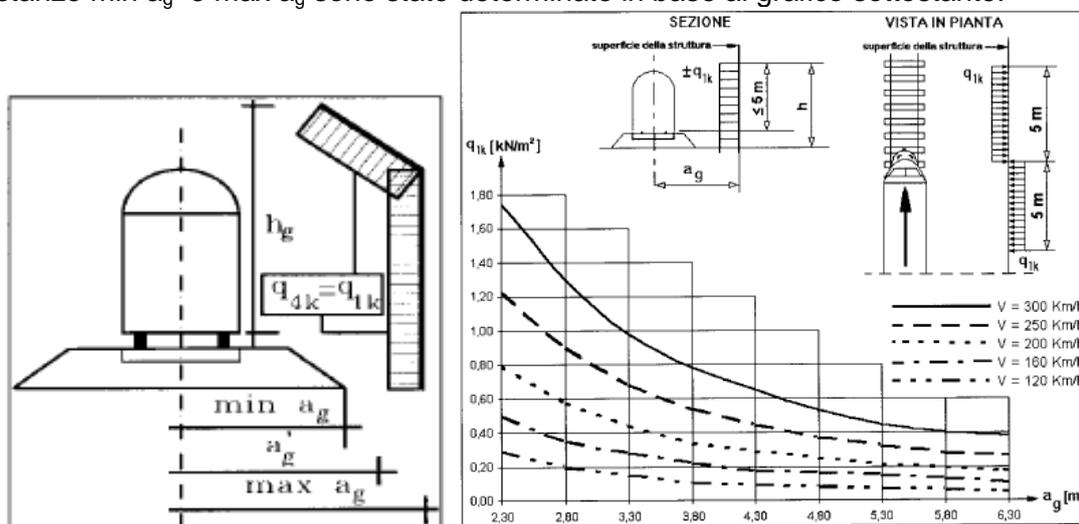


Figura 2: Grafico per la definizione della distanza  $\min\text{-}\max a_g$ , e valori caratteristici delle azioni  $q_{1k}$  su superfici verticali e parallele al binario

Si considera la barriera più vicina all'asse dei binari:

$$\min a_g = 2,57 \text{ m}; \quad \max a_g = 4,56 \text{ m};$$

$$a_g' = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g = 3,366 \text{ m};$$

A tali valori di  $a_g'$  corrispondono i seguenti valori dell'azione  $q_{1k}$  prodotta dal passaggio del convoglio, calcolata con velocità  $V = 200 \text{ km/h}$  e con riferimento a treni con forme aerodinamiche sfavorevoli:

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	16

$q_{1k} = 0,45 \text{ kN/m}^2$  → Pressione aerodinamica dovuta al passaggio dei convogli.

### Riepilogo

Da quanto riportato in precedenza si ottiene:

$P_{\text{vento}} + P_{\text{aerod.}} = 1,52 \text{ kN/m}^2 + 0,45 \text{ kN/m}^2 = 1,97 \text{ kN/m}^2$  per tutte le verifiche  $>1,5$  valore minimo per linee con  $V \leq 200 \text{ km/h}$  (in riferimento al paragrafo 2.5.1.8.3.2 del MdP rev B, sezione II).

Si precisa che la pressione così ottenuta fa riferimento alla condizione più gravosa ottenibile sulla linea in esame.

### 5.3 AZIONI SISMICHE

Per i pesi propri ed i pesi delle pannellature presenti la sismica determina sollecitazioni inferiori a quelle di vento + sovrappressione del treno con le quali non va comunque combinata.

Si conducono quindi le verifiche tralasciando quella dovuta all'azione sismica, in accordo all'allegato A del MdP RFI – Ambiente, sezione I.

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	17

## 6. 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  $\gamma_F$ ,  $\gamma_M$  e  $\gamma_R$  (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione  $\psi$  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 B del 22.12.2017 - §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:

$$p_{vento} + p_{aerod} = p_{tot} \geq 1,5 \text{ kN/m}^2 \quad \text{per linee percorse a velocità } V \leq 200 \text{ km/h}$$

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

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	18

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

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	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 <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	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 <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

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

<sup>(2)</sup> 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.

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

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

<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.

<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	19

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni.

Azioni		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
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	gr <sub>1</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr <sub>2</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr <sub>3</sub>	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr <sub>4</sub>	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	F <sub>Wk</sub>	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 <sub>k</sub>	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  $\psi_0$  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 $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	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.

I carichi sono stati combinati in accordo con le prescrizioni di normativa (NTC 08) assumendo sempre il valore 1 per i coefficienti di combinazione  $\psi$ .

In particolare, è stato utilizzato l'approccio 2 avente un'unica combinazione: A1+M1+R3

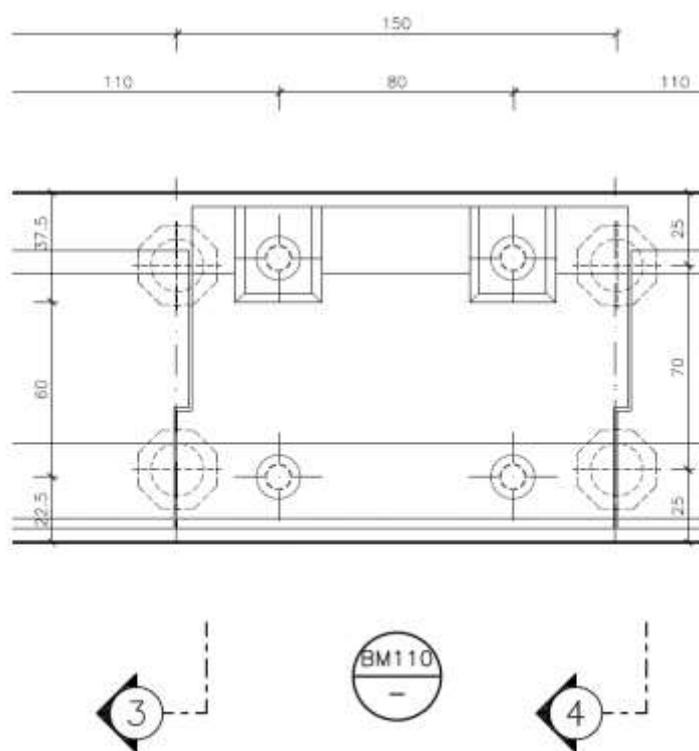
**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>20</b>

## 7. FONDAZIONI

### Calcolo delle sollecitazioni

Dai calcoli eseguiti vengono ricavati i valori delle sollecitazioni all'interfaccia tra i pali di fondazione ed il cordolo da questi dati sono ricavate le sollecitazioni, di compressione e di trazione, sui micropali. Alle sollecitazioni derivanti della base montante sono state sommate quelle della base tampone in modo da studiare un sistema completo di quattro pali.



**Figura 2-15 – Schema micropali**

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	21

## 8. MICROPALI

I micropali da utilizzare nel progetto delle barriere antirumore saranno del tipo valvolati iniettati a pressione con armatura in acciaio S275JR. Il diametro e la lunghezza del micropalo dipenderanno dall'altezza della barriera e dalle caratteristiche geotecniche del terreno su cui si opera.

L'ancoraggio nel calcestruzzo è realizzato mediante piastre ottagonali di dimensioni lorde 270x270x25 con lati da 112 mm, saldate ai micropali tramite doppi **cordoni d'angolo** su ciascun piatto di dimensioni 10x10 mm.

Il dimensionamento dei micropali sarà condotto con riferimento alle condizioni geotecniche più gravose su tutta la tratta.

### Portanza verticale

Il calcolo viene eseguito secondo il metodo messo a punto dall' *École Nationale des Ponts et Chaussées* da Bustamante e Doix, recepito nella gran parte delle normative e linee guida in Europa e negli Stati Uniti ( FHWA ) e basato sulla conoscenza dei valori del parametro  $N_{SPT}$  (numero di colpi) dei terreni attraversati.

Per la determinazione del carico limite, Bustamante e Doix fanno riferimento alla nota espressione:

$$Q_{lim} = P + S$$

dove con P viene indicata la resistenza totale alla punta, mentre con S quella laterale. La resistenza laterale S, a sua volta, è data da:

$$S = \pi \cdot \alpha \cdot d \cdot L \cdot s$$

dove  $d_s = \alpha \cdot d$  è il diametro equivalente del palo, L la lunghezza della zona iniettata, s la resistenza tangenziale unitaria all'interfaccia fra zona iniettata e terreno. Nel caso in esame il micropalo attraversa strati di terreno dalle caratteristiche diverse e la relazione per la determinazione di S risulta:

$$S = \pi \cdot \alpha \cdot d \sum L_i s_i$$

Si assume  $d_s = \alpha \cdot d$ , dove d è il diametro della perforazione e  $\alpha$  un coefficiente maggiorativo, il cui valore può essere determinato attraverso l'uso della tabella seguente (Viggiani, 1999). Come è possibile notare, Bustamante e Doix forniscono indicazioni ulteriori riguardanti la quantità minima di miscela iniettata.

Secondo tale metodo si calcola il diametro equivalente del palo attraverso il coefficiente  $\alpha$ , coefficiente dimensionale che tiene conto della tecnica di esecuzione dei micropali e del tipo di terreno (vedi tabella sotto).

Nel caso in esame viene adottata la tecnica IRS (IRS, injection ripetitive et selective), ma è comunque raccomandato di considerare che per i primi 4-5 m il palo venga considerato del tipo IGU, (IGU, injection globale unique).

Si trascura la resistenza alla punta del micropalo.

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	22

Terreno	Valori di $\alpha$		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	1,5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	1,5 Vs
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	1,5 Vs
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 Vs
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: (1,5 - 2)Vs; IGU: 1,5Vs
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: 2Vs; IGU: 1,5Vs
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: (2,5 - 3)Vs; IGU: (1,5 - 2)Vs
Marne	1,8	1,1 - 1,2	(1,5 - 2)Vs per strati compatti
Calcari marnosi	1,8	1,1 - 1,2	(2 - 6)Vs o più per strati fratturati
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	(1,1 - 1,5)Vs per strati poco fratturati 2Vs o più per strati fratturati

Tabella 6: Tabella per la determinazione del coefficiente  $\alpha$

Oltre al coefficiente  $\alpha$ , il metodo di Bustamante e Doix contempla anche il calcolo della resistenza tangenziale  $s$  all'interfaccia palo-terreno in funzione sia della natura che delle caratteristiche del terreno, sia dalla tecnologia di infissione, vengono riportate di seguito la tabella che indica a quale curva bisogna fare riferimento nel nostro caso, sia il grafico nel quale entrando con il valore delle  $N_{SPT}$ , è possibile leggere il corrispettivo valore di  $s$ .

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG 1	SG 2
Limo e argilla	AL 1	AL 2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC 1	MC 2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R 1$	$\geq R 2$

Tabella 7: Tabella per la determinazione del tipo di iniezione

I valori della resistenza tangenziale unitaria  $s_i$  all'interfaccia fra tratto iniettato e terreno dipendono sia dalla natura e dalle caratteristiche del terreno sia dalla tecnologia, e sono forniti dai diagrammi contenuti nelle Figure sottostanti:

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>23</b>

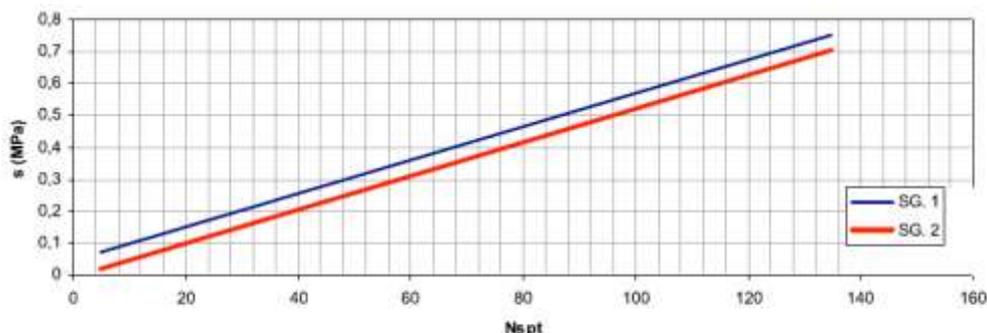


Figura 1. Abaco per la determinazione di  $s$  per Sabbie e Ghiaie  
(modificato rispetto a Viggiani, 1999)

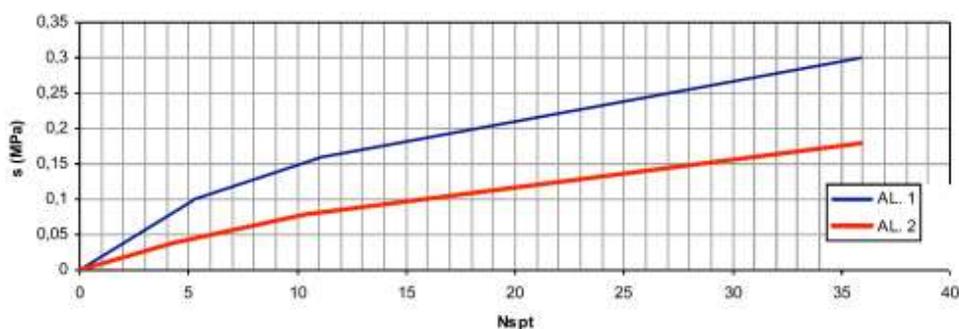


Figura 2. Abaco per la determinazione di  $s$  per Argille e Limi  
(modificato rispetto a Viggiani, 1999)

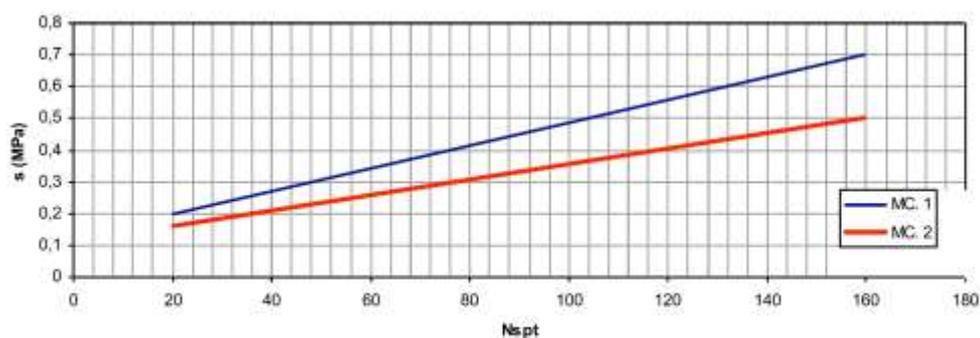


Figura 3. Abaco per la determinazione di  $s$  per Gessi, Marne e Marne Calcaree  
(modificato rispetto a Viggiani, 1999)

Dato l'alto rapporto esistente fra superficie laterale e superficie della punta del palo, per i micropali si considera un valore della portata alla punta pari al 15% della portata laterale.

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	24

## 9. RIEPILOGO AZIONI

Le sollecitazioni agenti in testa ai micropali sono state calcolate partendo dalle sollecitazioni risultanti all'incastro del modulo BM, dopo aver moltiplicato quelle relative all'azione aerodinamica dei convogli per il coefficiente di amplificazione dinamica  $\delta$ , riportato nella relazione tipologica; sono poi stati sommati i contributi dovuti ai momenti di trasporto, i pesi propri degli zoccoli di base dei moduli BM e BT (150cm+150cm) e del cordolo di fondazione.

### Barriere H7 – Modulo BM110

#### Forze statiche a quota testa micropali

	<b>N [kN]</b>	<b>V [kN]</b>	<b>M* [kN*m]</b>
PP	-150.91	0	7.7
PA	-6.08	0	5.42
PB	-12.15	0	10.84
Vento W+ S200 $\delta Q$	0.0	42.7	177.9

#### Combinazioni:

	G1	G2(=G1)	G2(=G1)	Q1	Q2
	<b>PP</b>	<b>P.Asc.</b>	<b>P.Bagn.</b>	<b>VENTO</b>	<b>S160</b>
<b>SLU</b>	1,35	0	1,35	1,5	1,5

#### Sollecitazioni agenti sul singolo micropalo

Lo sforzo normale e il taglio agenti sui singoli micropali vengono calcolati in base al numero di micropali presente al di sotto di ogni montante e al loro interasse trasversale, secondo le seguenti formule:

$$N_p = \frac{N}{n_{pali}} \pm N_m = \frac{N}{n_{pali}} \pm \frac{M}{2 \cdot i_{trasv}} \quad V_p = \frac{V}{n_{pali}}$$

### Barriere H7 – Modulo BM110

$i_{trasv. [m]}$	0,7
$n_{micropali}$	4

#### Sollecitazioni singolo micropalo - combinazioni

	<b>Nm [kN]</b>	<b>Np+ [kN]</b>	<b>Np- [kN]</b>	<b>Vp [kN]</b>
<b>SLU</b>	208.50	153.46	-263.53	16.02

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	25

## 10. VERIFICA PALI DI FONDAZIONE

### 10.1 VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE

La verifica della capacità portante è stata eseguita mediante foglio di calcolo.

Per la barriera antirumore di tipo H7, in base all'elenco delle installazioni previste lungo la linea è stata considerata la stratigrafia riportata al Capitolo 2.

	Unità geotecnica	Profondità [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	cu [kPa]	Nspt [-]
CGC1g	Ghiaia sabbiosa	Da 0.0 a 9.0	19.5	39	-	27 – R
SSR	Sabbia, Sabbia limosa	Da 9.0 a 15.0	19.5	35	-	10 – R

*Tabella 8 – Stratigrafia di riferimento*

Per quanto riguarda i valori di  $\alpha$  e  $s$ , i primi 5 metri sono stati considerati con i parametri IGU, mentre dai 5m in poi sono stati considerati i valori IRS con  $N_{spt} = 30$ .

Il fattore di correlazione  $\xi$  (Tab.6,4,IV delle NTC2008), in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine, è stato assunto pari a 1.7 in via cautelativa.

La verifica è stata eseguita secondo l'approccio A1+M1+R3 delle NTC08.

Di seguito viene riportato i valori di capacità portante ottenuti secondo le indicazioni riportate in precedenza.

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	26

**Caratteristiche del micropalo:**

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0.25 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 9.00 (m)

**Armatura:**

IPE   
  INP   
  HEA   
  HEB   
  HEM   
 Tubi   
 ALTRO

IPE 180   
 INP 160   
 HEA 300   
 HEB 160   
 HEM 200   
 ø168,3 x 8,0

**ø168,3 x 8,0**

Area dell'armatura (A<sub>arm</sub>): 4029 (mm<sup>2</sup>)

Momento di inerzia della sezione di armatura (J<sub>arm</sub>): 1.297E+07 (mm<sup>4</sup>)

Modulo di resistenza della sezione di armatura (W<sub>arm</sub>): 154,162 (mm<sup>3</sup>)

Tipo di acciaio

Tensione di snervamento dell'acciaio (f<sub>y</sub>): 275 (N/mm<sup>2</sup>)

Coefficiente Parziale Acciaio (γ<sub>M</sub>): 1.05

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ<sub>lim</sub>): 262 (N/mm<sup>2</sup>)

Modulo di elasticità dell'acciaio (E<sub>arm</sub>): 210,000 (N/mm<sup>2</sup>)

**Coefficiente di Reazione Laterale:**

Coeff. di Winkler (k): 20.0 (MN/m<sup>3</sup>)

Carico assiale N<sub>p</sub> = 263.53

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	27

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$QI = \sum_i \pi * Ds_i * s_i * Is_i$$

Tipo di Terreno	Spessore $Is_i$ (m)	$\alpha$ (-)	$Ds_i = \alpha * D$ (m)	$S_i$ media (MPa)	$S_i$ minima (MPa)	$S_i$ calcolo (MPa)	$Qsi$ (kN)
CGC1g = G(S)	5.00	1.30	0.33	0.180	0.180	0.092	470.03
CGC1g = G(S)	4.00	1.70	0.43	0.230	0.230	0.118	628.32
			0.00			0.000	0.00

$$Ls = 9.00 \text{ (m)} \quad QI = 1098.35 \text{ (kN)}$$

**Capacità portante di punta**

$$Qp = \%Punta * QI$$

(consigliato 10-15%)

$$\% Punta = 15\%$$

$$Qp = 164.75 \text{ (kN)}$$

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$$Qlim = Qb + QI$$

$$Qlim = 1263.11 \text{ (kN)}$$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$$Fs = 4.79$$

**CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k * D_{am}$ ):

$$3.37 \text{ (Nmm}^2\text{)}$$

$$Pk = 2 * (\beta * Earm * Jarm)^{0.5}$$

$$\eta = Pk / N \quad (\text{consigliato } \eta > 10)$$

$$Pk = 6056.37 \text{ (MN)}$$

$$\eta = 22.98$$

Verifica a trazione  $Np = -153.46$

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$QI = \sum_i \pi * Ds_i * s_i * Is_i$$

Tipo di Terreno	Spessore $Is_i$ (m)	$\alpha$ (-)	$Ds_i = \alpha * D$ (m)	$S_i$ media (MPa)	$S_i$ minima (MPa)	$S_i$ calcolo (MPa)	$Qsi$ (kN)
CGC1g = G(S)	5.00	1.30	0.33	0.180	0.180	0.085	432.43
CGC1g = G(S)	4.00	1.70	0.43	0.230	0.230	0.108	578.05
			0.00			0.000	0.00

$$Ls = 9.00 \text{ (m)} \quad QI = 1010.48 \text{ (kN)}$$

**Capacità portante di punta**

$$Qp = \%Punta * QI$$

(consigliato 10-15%)

$$\% Punta = 0\%$$

$$Qp = 0.00 \text{ (kN)}$$

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

$$Qlim = Qb + QI$$

$$Qlim = 1010.48 \text{ (kN)}$$

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$$Fs = 6.58$$

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	28

## 10.2 VERIFICA CARICO LIMITE ORIZZONTALE

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Con riferimento alla stratigrafia riportata nel Capitolo 6, il palo è da considerarsi installato in un terreno omogeneo incoerente. Nell'immagine seguente i meccanismi che governano il carico limite orizzontale in caso di pali corto-intermedio-lungo in questo tipo di terreni.

BARRIERE ANTIRUMORE  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	29

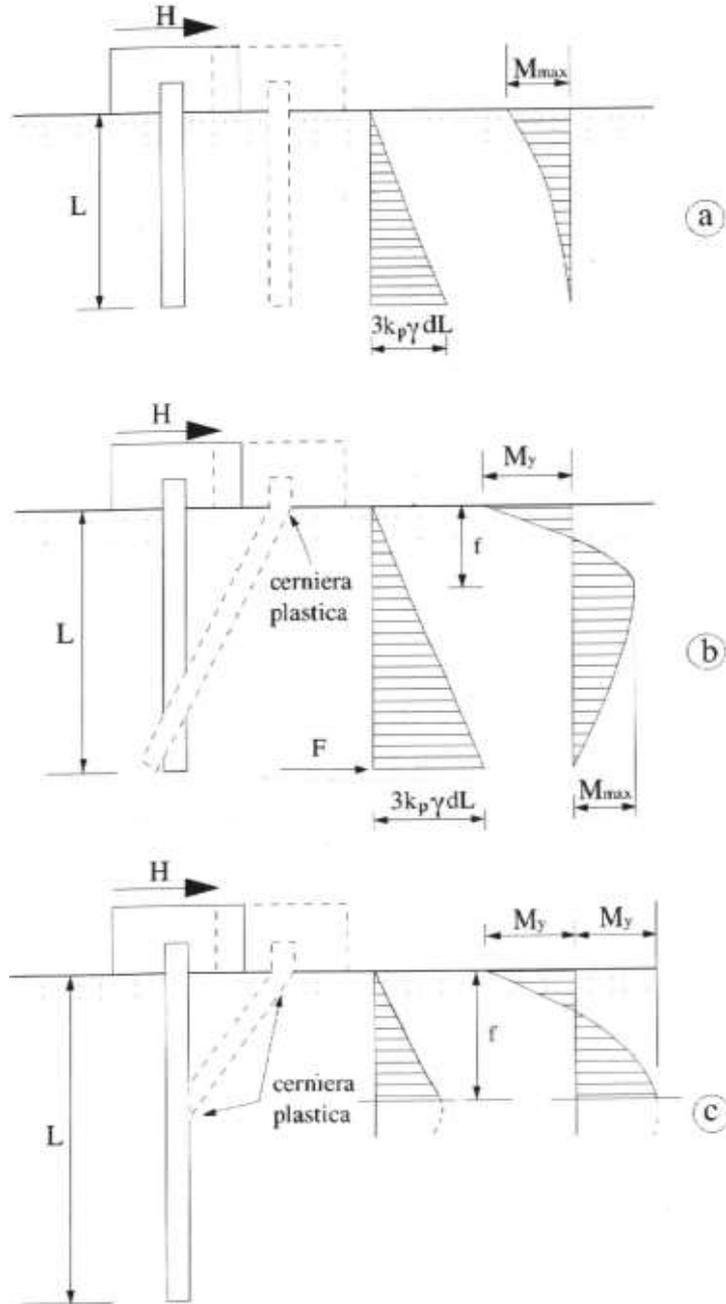


Fig. 13.33. Pali impediti di ruotare in testa, terreni incoerenti:  
a) palo "corto"; b) palo "intermedio"; c) palo "lungo"

BARRIERE ANTIRUMORE  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	30

Calcolo del momento di plasticizzazione di un micropalo

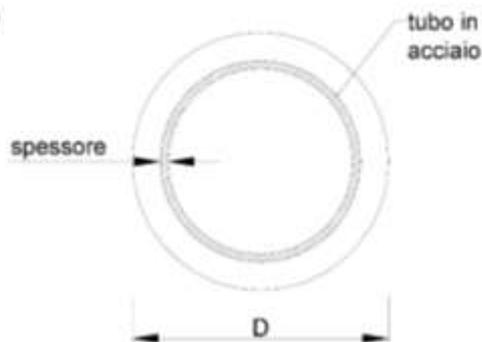
Diametro = 245 (mm)

Tubo

Diametro esterno = 168.3 (mm)

Spessore = 8.0 (mm)

Sforzo Normale = 100 (kN)



Caratteristiche dei Materiali

malta

Rck = 25 (Mpa)

fck = 20 (Mpa)

$\gamma_c$  = 1.5

$\alpha_{cc}$  = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 11.33$  (Mpa)

Acciaio

tipo di acciaio

$f_{yk}$  = 275 (Mpa)

$\gamma_{m1}$  = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{m1} = 239.1$  (Mpa)

Es = 210000 (Mpa)

$\epsilon_{yk}$  = 0.114%

$\epsilon_{uk}$  = 1.000%

Momento di Plasticizzazione

**My = 59.1 (kN m)**

Nel caso in oggetto, la verifica mediante foglio di calcolo:

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

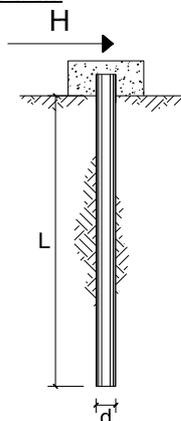
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>31</b>

**CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI  
PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA**

**OPERA:** BH7

**TEORIA DI BASE:**  
(Broms, 1964)

coefficienti parziali			A		M	R
Metodo di calcolo			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_\phi$	$\gamma_T$
SIU	A1+M1+R1	○	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	○	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	●	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	○	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		○	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.00	1.00	1.00	1.30



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
$\xi_s$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_r$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

*Palo corto:* 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

*Palo intermedio:* 
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

*Palo lungo:* 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}}$$

**DATI DI INPUT:**

Lunghezza del palo	L =	9.00	(m)		
Diametro del palo	d =	0.25	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	$M_y$ =	59.07	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\phi'_{med}$ =	39.00	(°)	$\phi'_{min}$ =	39.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\phi'_{med,d}$ =	39.00	(°)	$\phi'_{min,d}$ =	39.00 (°)
Coeff. di spinta passiva ( $k_p = (1+\sin\phi)/(1-\sin\phi)$ )	$k_{p,med}$ =	4.40	(-)	$k_{p,min}$ =	4.40 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$ )	$\gamma$ =	10.00	(kN/m <sup>3</sup> )		
Carico Assiale Permanente (G):	G =	12.32	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =		(kN)		

*Palo corto:*

$H1_{med} = 1335.13$  (kN)       $H1_{min} = 1335.13$  (kN)

*Palo intermedio:*

$H2_{med} = 451.61$  (kN)       $H2_{min} = 451.61$  (kN)

*Palo lungo:*

$H3_{med} = 80.32$  (kN)       $H3_{min} = 80.32$  (kN)

$H_{med} = 80.32$  (kN)      palo lungo       $H_{min} = 80.32$  (kN)      palo lungo

$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_s ; R_{min}/\xi_r) = 47.25$  (kN)

$H_d = H_k/\gamma_T = 36.34$  (kN)

$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 16.02$  (kN)

$FS = H_d / F_d = 2.27$

**LINEA PESCARA – BARI****RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA  
LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA**

<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	32

La verifica a carico limite orizzontale risulta pertanto soddisfatta.

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>33</b>

### 10.3 VERIFICHE STRUTTURALI SU MICROPALO

Le verifiche strutturali dei micropali di 250mm di diametro sono state effettuate sia a flessione che a taglio considerando il tubo in acciaio senza considerare il contributo del calcestruzzo. Per i micropali si prevede un'armatura costituita da un tubo in acciaio S275JR di diametro esterno di 168.3mm e spessore di 8 mm. Il momento sollecitante è stato graficato da un modello FEM del singolo palo vincolato in testa a cui viene applicato un carico puntuale uguale al taglio sollecitante:



La verifica è stata effettuata mediante foglio di calcolo:

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>34</b>

**VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI**

Momento massimo per carichi orizzontali (M):  
(ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$$b = 0.823 \quad (1/m)$$

Momento Massimo (M):

$$M = 9.73 \quad (kN m)$$

**VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO**

Acciaio S 275 (Fe 430)

*Tensioni nel singolo micropalo*

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = 2 \cdot T/A_{arm}$$

$$\sigma_{max} = 128.53 \quad (N/mm^2)$$

$$\sigma_{min} = 2.30 \quad (N/mm^2)$$

$$\tau = 7.95 \quad (N/mm^2)$$

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0.5}$$

$$\sigma_{id} = 129.26 \quad (N/mm^2) \quad \text{verifica soddisfatta}$$

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	35

## 10.4 VERIFICHE CEDIMENTI

Per la verifica dei cedimenti è stato ipotizzato lungo tutto il palo (9m) il materiale della formazione CGC1g. Secondo la Relazione geotecnica Generale (doc LI0B02EZZRBGE0005001) tale materiale presenta un modulo di deformazione elastico iniziale pari a  $E_0 = 250 \div 1500$  MPa.

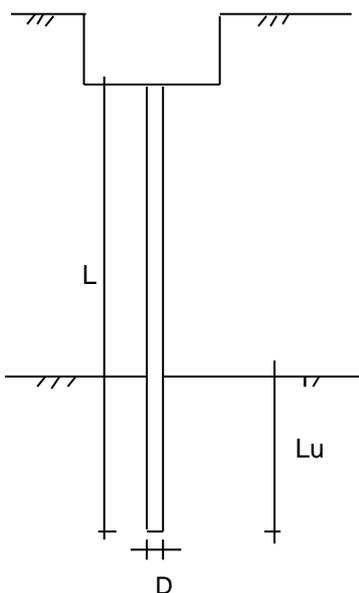
Ai fini del calcolo è stato assunto un modulo Elastico  $E = 250/5 = 50$  Mpa

### CALCOLO DEL CEDIMENTO

**OPERA:** BA7

#### DATI DI IMPUT:

Diametro del Palo (D): 0.25 (m)  
 Carico massimo sul palo (Pmax): 263.53 (kN)  
 Lunghezza del Palo (L): 9.00 (m)  
 Lunghezza Utile del Palo (Lu): 9.00 (m)  
 Modulo di Deformazione (E): 50000 (kN/m<sup>2</sup>)



#### CEDIMENTO DEL MICROPALO SINGOLO:

$$\delta = \beta * P_{max} / E * L_u$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D): 2.06 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P_{max} / E * L_u \quad 1.20 \quad (\text{mm})$$

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	36

## 11. VERIFICA CORDOLO DI FONDAZIONE

Si riportano di seguito le verifiche strutturali effettuate sul cordolo di fondazione facendo riferimento al capitolo 4.1.2.1 dell'NTC 2008.

Le verifiche sono state svolte sia rispetto agli SLU che agli SLE considerando la trave soggetta a pressoflessione deviata, a taglio ed a torsione.

### 11.1 CALCOLO SOLLECITAZIONI AGENTI

Per il calcolo delle sollecitazioni agenti si sono considerate le sollecitazioni sul cordolo di fondazione derivate dalla barriera antirumore e dal peso proprio e combinate in virtù dei coefficienti di combinazione adottati. Le azioni sono state considerate come carichi distribuiti orizzontali, verticali e torcenti.

Lo schema statico considerato nella valutazione delle sollecitazioni è di trave vincolata in corrispondenza dei micropali con carico distribuito. I micropali, disposti ad interasse di 1.50 assolvono alla funzione di vincolo allo spostamento nelle due direzioni ed alla funzione di ritegno torsionale. Pertanto lo schema considerato è il seguente:



Le azioni caratteristiche trasmesse dai moduli ogni 3 m sono le seguenti:

Azioni permanenti			Azioni accidentali		
$N_{gk} =$	163,06 kN		$N_{qk} =$	0,00 kN	
$V_{gk} =$	0,00 kN		$V_{qk} =$	42,70 kN	
$M_{gk} =$	18,54 kNm		$M_{qk} =$	177,90 kNm	
* Per modulo di 3 m					

I carichi distribuiti da queste derivati ed applicati, sono di seguito riportati:

COMB	$q_{vd}$	$q_{hd}$	$m_{td}$
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]
<b>SLU</b>	73,38	21,35	97,29
<b>SLE rara</b>	54,35	14,23	65,48
<b>SLE freq.</b>	54,35	7,12	35,83
<b>SLE q. p.</b>	54,35	0,00	6,18

Le sollecitazioni che questi carichi generano nel cordolo di fondazione sono le seguenti:

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>37</b>

COMB	$M_{z,Ed}$	$M_{y,Ed}$	$T_{Ed}$	$V_{y,Ed}$	$V_{2,Ed}$
	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]
<b>SLU</b>	20,64	6,00	72,97	55,03	16,01
<b>SLE rara</b>	15,29	4,00	49,11	40,77	10,68
<b>SLE freq.</b>	15,29	2,00	26,87	40,77	5,34
<b>SLE q. p.</b>	15,29	0,00	4,64	40,77	0,00

## 11.2 PARAMETRI SEZIONE

Unità di misura utilizzate: Lunghezze: m Forze: KN Angoli: rad

Sezione:

vertice	Coordinata X	Coordinata Y
1	-0,60	0,00
2	-0,60	0,55
3	0,60	0,55
4	0,60	0,00

Armature longitudinali:

armatura	Coordinata X	Coordinata Y	Area	Ø
1	-0,55	0,05	0,00	20
2	-0,33	0,05	0,00	20
3	-0,11	0,05	0,00	20
4	0,11	0,05	0,00	20
5	0,33	0,05	0,00	20
6	0,55	0,05	0,00	20
7	-0,55	0,50	0,00	20
8	-0,33	0,50	0,00	20
9	-0,11	0,50	0,00	20
10	0,11	0,50	0,00	20
11	0,33	0,50	0,00	20
12	0,55	0,50	0,00	20

### 11.2.1 Parametri sezione

Sezione di calcestruzzo:

Area= 0,66

Coordinate baricentro:  $x = 0,00$   $y = 0,28$

$J_{xx} = 0,02$

$J_{yy} = 0,08$

Sezione di c.a.:

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>38</b>

Area= 0,72

Coordinate baricentro: x= 0,00 y= 0,28

$J_{xx} = 0,02$

$J_{yy} = 0,09$

## 11.2.2 Dati dei materiali

Sezione:

Caratteristiche meccaniche		
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck}$	35000,00
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cil}$	29050,00
Coeff. carichi lunga durata	$\alpha_{CC}$	0,85
Fattore di sicurezza parziale	$\gamma$	1,5
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd}$	16461,67
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm}$	2834,99
Resist. a trazione per fessurazione	$f_{ct,eff}$	1229,82
Tensione di formazione delle fessure	$\sigma_t$	2362,49
Modulo elastico secante (fessur.)	$E_{cm}$	25472933,52
Sezione reagente a trazione		NO

Valori limite di deformazione		
Compressione	$\epsilon_{inf}$	-0,0035
Trazione	$\epsilon_{sup}$	1

Armature:

Caratteristiche meccaniche		
Valore caratt. tensione snervamento	$f_{yk}$	450000,00
Fattore di sicurezza parziale	$\gamma$	1,15
Valore di calcolo tens. snervamento	$f_{yd}$	391304,35
Modulo elastico (fessurazione)	$E_s$	200000000,00

Valori limite di deformazione		
Compressione	$\epsilon_{s,inf}$	-0,01
Trazione	$\epsilon_{s,sup}$	0,01

## 11.3 VERIFICHE SLU

### 11.3.1 Sollecitazioni di progetto

Com b	Descrizione	N	Ecc. X	Ecc. Y	Mx	My
1	Combinazione 1	0	0,00	0,27	21	6

### 11.3.2 Sollecitazioni Resistenti (M,N)

Piano	Soll. Minima	Def. Limite	Soll. Massima	Def. Limite
N	-12340	-0,0035 (sez)	1475	0,01 (arm)
Mx	-347	0,01 (arm)	347	0,01 (arm)
My	-765	0,01 (arm)	765	0,01 (arm)

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>39</b>

### 11.3.3 Verifiche

Com b	Descrizione	Coeff. di sicurezza	Mat. limitazione
1	Combinazione 1	16,7762	sezione

### 11.3.4 Sollecitazioni resistenti taglianti

$$V_{Rd} = (0.18 \cdot k \cdot ((100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (\text{Elemento privo di armatura a taglio})$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s) \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) \cdot \sin \alpha \quad (\text{Rottura armatura trasversale})$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot 0.5 \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg} \alpha + \text{ctg} \theta) / (1 + \text{ctg}^2 \theta) \quad (\text{Rottura bielle compresse})$$

Dove:

d: altezza utile della sezione

$b_w$ : larghezza minima della sezione

$A_{sw}$ : area armatura trasversale

s: interasse tra 2 armature trasversali consecutive

$\alpha$ : inclinazione risp. all'orizzontale delle armature trasversali

$\theta$ : inclinazione bielle compresse in cls

$\alpha_c$ : coeff. maggiorativo dovuto alla presenza dello sforzo assiale

$A_{sl}$ : area acciaio in zona tesa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_{cls}$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d)$$

Calcestruzzo:	$\theta$	$b_w$	Staffe:	$A_{sw}$	passo	$\alpha$
	0,79	1,20		0,000	0,20	1,571

Comb	d	K	$A_{sl}$	$\rho_l$	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$
1	0,50	1,632	0,002	0,003	0,00	1,000

Comb	Descrizione	$V_{Rd}$	$V_{Rsd}$	$V_{Rcd}$
1	Combinazione 1	246	199	2222

### 11.3.5 Sollecitazioni resistenti torcenti

La verifica di resistenza (SLU) consiste nel controllare che

$$T_{Rd} \geq T_{Ed}$$

dove  $T_{Ed}$  è il valore di calcolo del momento torcente agente. Per elementi prismatici sottoposti a torsione semplice o combinata con altre sollecitazioni, che abbiano sezione piena o cava, lo schema resistente è costituito da un traliccio periferico in cui gli sforzi di trazione sono affidati alle armature longitudinali e trasversali ivi contenute e gli sforzi di compressione sono affidati alle bielle di calcestruzzo.

Con riferimento al calcestruzzo la resistenza si calcola con

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A \cdot t \cdot f'_{cd} \cdot \frac{\text{ctg} \theta}{(1 + \text{ctg}^2 \theta)}$$

 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
<b>BARRIERE ANTIRUMORE</b> Relazione di calcolo fondazioni BA H7		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	40

dove  $t$  è lo spessore della sezione cava; per sezioni piene  $t = A_c/u$  dove  $A_c$  è l'area della sezione ed  $u$  è il suo perimetro;  $t$  deve essere assunta comunque  $\geq 2$  volte la distanza fra il bordo e il centro dell'armatura longitudinale.

Le armature longitudinali e trasversali del traliccio resistente devono essere poste entro lo spessore  $t$  del profilo periferico. Le barre longitudinali possono essere distribuite lungo detto profilo, ma comunque una barra deve essere presente su tutti i suoi spigoli. Con riferimento alle staffe trasversali la resistenza si calcola con

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A \cdot \frac{A_s}{s} \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta$$

Con riferimento all'armatura longitudinale la resistenza si calcola con

$$T_{Rtd} = 2 \cdot A \cdot \frac{\sum A_l}{u_m} \cdot f_{yd} / ctg\theta$$

dove si è posto:

$A$  area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico;

$A_s$  area delle staffe;  $u_m$  perimetro medio del nucleo resistente  $s$  passo delle staffe;

$\sum A_l$  area complessiva delle barre longitudinali.

La resistenza alla torsione della trave è la minore delle tre sopra definite:

$$T_{Rd} = \min (T_{Rcd}, T_{Rsd}, T_{Rtd})$$

L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq ctg \theta \leq 2,5$$

**BARRIERE ANTIRUMORE**  
 Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	41

Verifica a torsione			
h=	0,55	m	
b=	1,2	m	
u=	3,5	m	Ac= 0,66 mq
t=	0,1885714	m	A= 0,485 mq
um=	3,1	m	
Staffe per torsione			
$\phi_w$ =	12	mm	bracci= 2
s=	0,4	m	A <sub>s</sub> = 226,08 mmq
Armature longitudinali per torsione			
$\phi$ =	20	mm	
A <sub>t</sub> =	4	$\phi$ 20	
A <sub>t</sub> =	1256	mmq	
T <sub>Ed</sub> =	72,97	kNm	
T <sub>Rcd</sub> =	645,23	kNm	
T <sub>Rsd</sub> =	214,53	kNm	
T <sub>Rld</sub> =	153,79	kNm	T <sub>Rd</sub> = 153,79 kN

## 11.4 VERIFICHE SLE

Unità di misura utilizzate: Lunghezze: m Forze: KN Angoli: rad

### 11.4.1 Limitazione delle tensioni in esercizio

#### Combinazioni caratteristiche (rare)

Rara:

N	Ecc. X	Ecc. Y	Mx	My
0	0,00	0,22	15	4

asse neutro: da x=-0,60 y=0,09 a x=0,60 y=0,15

 parametri riferiti all'asse neutro: J<sub>n-n</sub> = 0,00 S<sub>n-n</sub> = 0,01 b<sub>n-n</sub> = 1,20

Tensioni nei vertici		Tensioni nelle armature	
vertice	tensione	armatura	tensione
1	-277,35	1	-1944,98
2	0,00	2	-2468,41

BARRIERE ANTIRUMORE  
Relazione di calcolo fondazioni BA H7

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	BA	02	00	002	C	42

Tensioni nei vertici		Tensioni nelle armature	
vertice	tensione	armatura	tensione
3	0,00	3	-2991,84
4	-467,69	4	-3515,27
		5	-4038,70
		6	-4562,13
		7	19063,52
		8	18540,09
		9	18016,66
		10	17493,23
		11	16969,80
		12	16446,37

Tensioni massime nei materiali:

com b	Descrizione	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$
1	Rara	-467,69	0,00	19063,52	-4562,13

### Combinazioni quasi permanenti

Combinazione qp:

N	Ecc. X	Ecc. Y	Mx	My
0	0,00	0,22	15	0

asse neutro: da  $x=-0,60$   $y=0,12$

a  $x=0,60$   $y=0,12$

parametri riferiti all'asse neutro:  $J_{n-n} = 0,00$   $S_{n-n} = 0,01$   $b_{n-n} = 1,20$

Tensioni nei vertici		Tensioni nelle armature	
vertice	tensione	armatura	tensione
1	-375,43	1	-3297,16
2	0,00	2	-3297,16
3	0,00	3	-3297,16
4	-375,43	4	-3297,16
		5	-3297,16
		6	-3297,16
		7	17712,08
		8	17712,08
		9	17712,08
		10	17712,08
		11	17712,08
		12	17712,08

Tensioni massime nei materiali:

com b	Descrizione	$\sigma_{c,max}$	$\sigma_{c,min}$	$\sigma_{s,max}$	$\sigma_{s,min}$
1	QP	-375,43	0,00	17712,08	-3297,16

### 11.4.2 Verifiche a fessurazione

Viene condotto il calcolo dell'ampiezza delle fessure per ogni combinazione di carico che lo richiede. A questo scopo si adotta l'espressione:

$$W_k = S_{r,max}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

dove:

BARRIERE ANTIRUMORE Relazione di calcolo fondazioni BA H7	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>BA</b>	<b>02</b>	<b>00</b>	<b>002</b>	<b>C</b>	<b>43</b>

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot c + K_1 \cdot K_2 \cdot 0.425 \cdot \varnothing_{eq} / \rho_{eff}$$

$$\varepsilon_d = \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - K_t \cdot f_{ct,eff} / \rho_{eff} \cdot (1 + E_s / E_c \cdot \rho_{eff})] / E_s \geq 0.6 \cdot \sigma_s / E_s$$

Combinazioni frequenti:

com b	A <sub>s,eff</sub>	A <sub>cls,eff</sub>	ρ <sub>eff</sub>	σ <sub>s</sub>	c	∅ <sub>eq</sub>	ε <sub>d</sub> · 10 <sup>3</sup>	K <sub>2</sub>	s <sub>r,max</sub>	W <sub>k</sub>	
1	0,00	0,22	0,0086	17722,81	0,04	20,0	0,053	0,50	0,53	0,0000	(<0,0002)

Combinazioni quasi permanenti:

com b	A <sub>s,eff</sub>	A <sub>cls,eff</sub>	ρ <sub>eff</sub>	σ <sub>s</sub>	c	∅ <sub>eq</sub>	ε <sub>d</sub> · 10 <sup>3</sup>	K <sub>2</sub>	s <sub>r,max</sub>	W <sub>k</sub>	
1	0,00	0,21	0,0090	17712,08	0,04	20,0	0,053	0,50	0,51	0,0000	(<0,0002)