

COMMITTENTE:



DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE VENEZIA

PROGETTAZIONE:



STUDI ESECUZIONE PROGETTI INGEGNERIA S.E.P.I. S.r.l.  
Via F.lli Perini, 93 - 38122 Trento (TN)

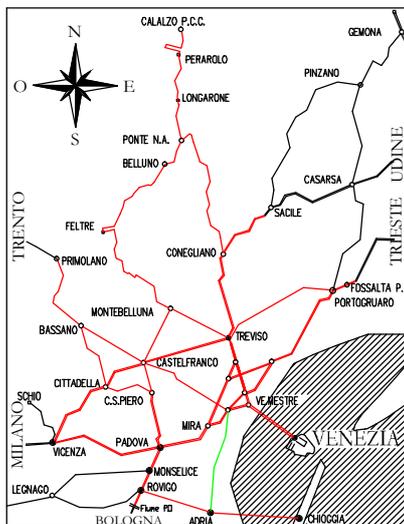
SOGGETTO TECNICO: DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE VENEZIA  
S.O. INGEGNERIA e TECNOLOGIE  
REP. S.O.A.F.I.S. - Sede Opere d'Arte Fabbricati Impianti Speciali

## PROGETTO DEFINITIVO

Linea: VENEZIA - TRIESTE

Località: QUARTO D'ALTINO - RONCADE

Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro



**INTERVENTI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE**  
BARRIERE ANTIRUMORE  
Relazione di calcolo delle strutture di fondazione

SCALA -

Foglio 1 di 1

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROG.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZIONE
1 4 4 1 1 3	0 0 1	P D	T B B C	0 4	0 4	M A N R 0 2 B

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Prima emissione	Romania	13.08.15	Soraperra	14.08.15	Meneguzzer	17.08.15	Meneguzzer	17.08.15
B	Seconda istruttoria	Romania	07.09.15	Romania	08.09.15	Meneguzzer	11.09.15	Meneguzzer	11.09.15

POSIZIONE ARCHIVIO	LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZIONE	TIMBRO	
	L 3 9 0	T R 3 0 4 4	T B B C	M A N R 0 2 B		
	Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

**Linea: VENEZIA – TRIESTE**  
**Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE**

**Progettazione definitiva dell'intervento di modifica  
di tracciato della linea ferroviaria Venezia – Trieste  
tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della  
velocizzazione della tratta Venezia Mestre – Portogruaro**

**INTERVENTI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE  
BARRIERE ANTIRUMORE - RELAZIONE DI CALCOLO  
DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE**

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSE.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ELABORATI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>INTERVENTO IN PROGETTO.....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE GENERALI DELLE OPERE .....</b>	<b>5</b>
<b>5.1</b>	<b>Quadro normativo di riferimento.....</b>	<b>5</b>
<b>5.2</b>	<b>Caratteristiche barriere antirumore .....</b>	<b>5</b>
<b>5.3</b>	<b>Caratteristiche dei materiali.....</b>	<b>8</b>
5.3.1	Strutture in cemento armato .....	8
5.3.2	Strutture in carpenteria metallica .....	9
<b>5.4</b>	<b>Metodi di calcolo .....</b>	<b>11</b>
<b>5.5</b>	<b>Caratterizzazione geotecnica e stratigrafica .....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>ANALISI FONDAZIONI .....</b>	<b>14</b>
<b>6.1</b>	<b>Analisi dei carichi .....</b>	<b>14</b>
6.1.1	Sollecitazioni massime .....	14
<b>6.2</b>	<b>Verifica geotecnica .....</b>	<b>14</b>
6.2.1	Calcolo della capacità portante verticale del micropalo.....	14
6.2.2	Calcolo della capacità portante orizzontale del micropalo.....	21
<b>6.3</b>	<b>Verifica strutturale.....</b>	<b>22</b>
6.3.1	Verifica resistenza tubo .....	22

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

## NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### *Leggi e decreti*

- [1] Legge n.1086 del 5.11.1971  
*Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica.*  
G.U. n.321 del 21.12.1971
- [2] Legge n.64 del 2.2.1974  
*Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*  
G.U. n.76 del 21.3.1974
- [3] Decreto Ministero delle Infrastrutture del 14.01.2008  
*Norme tecniche per le costruzioni.*  
G.U. n.29 del 04.02.2008

### *Circolari*

- [4] Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 02.02.2009, n. 617  
*Istruzione per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.*

### *Istruzioni Rete Ferroviaria Italiana (RFI)*

- [5] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011  
*Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario.*
- [6] RFI DINIC MA CS 00 001 C del 20.09.2004  
*Manuale di progettazione – Corpo stradale.*

### *Norme europee*

- [7] UNI-EN 1992-1-1:2005 Eurocodice 2 (aprile 2006)  
*Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*
- [8] UNI-EN 1993-1-1:2005 Eurocodice 3 (settembre 2008)  
*Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.*
- [9] UNI-EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 (febbraio 2005)  
*Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.*
- [10] UNI-EN 1998-1:2005 Eurocodice 8 (marzo 2005)  
*Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.*

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

## 1 PREMESSE

Il presente elaborato, che costituisce parte integrante della “*progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia – Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre – Portogruaro*”, descrive l’analisi per il dimensionamento delle opere di fondazione (micropali) delle barriere antirumore previste, con riferimento sia alla situazione di progetto 1 che alla situazione progetto 2.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è quello di illustrare le modalità dell’analisi statica svolta per determinare il dimensionamento, a livello di progettazione definitiva, delle opere di fondazione delle barriere antirumore. Nel documento in particolare si riportano le descrizioni delle modalità di calcolo e di dimensionamento dei micropali di fondazione.

## 3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Il presente documento è corredato dai seguenti elaborati grafici:

- MANT01 – BARRIERA ANTIRUMORE-Planimetria e prospetti. Situazione progetto 1;
- MANT02 – BARRIERA ANTIRUMORE-Planimetria e prospetti. Situazione progetto 2;
- MANT03 – BARRIERA ANTIRUMORE - Base in calcestruzzo e montante - Disegni generali;
- MANT04 – BARRIERA ANTIRUMORE - Moduli di base in calcestruzzo e plinti – Lato Nord;
- MANT05 – BARRIERA ANTIRUMORE - Moduli di base in calcestruzzo e plinti – Lato Sud;
- MANT06 – BARRIERA ANTIRUMORE - Base in calcestruzzo – Accoppiamento moduli e schema di montaggio;

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

## 4 INTERVENTO IN PROGETTO

In questo capitolo viene descritto sinteticamente il progetto, che si inserisce nell'ambito del complesso dei lavori diffusi di adeguamento della linea ferroviaria Venezia - Trieste, funzionali all'incremento della velocità di percorrenza a 180 - 200 km/h.

Il segmento di linea oggetto di questa progettazione si sviluppa tra il km 15+600 ed il km 17+800, della tratta Venezia Mestre – Portogruaro. In particolare si prevede la realizzazione di una variante planoaltimetrica fra il ponte sul fiume Sile ed il manufatto di attraversamento dello scolo San Giovanni, per uno sviluppo di circa 930 metri, che ricade interamente nel territorio del Comune di Roncade.

La modifica planimetrica del tracciato ha inizio in corrispondenza della spalla del ponte sul fiume Sile in sponda sinistra, alla pk 16+849.50, e termina alla nuova pk 17+780.80.

In questo tratto saranno aumentati i raggi di curvatura, con conseguente traslazione dei binari verso nord-ovest fino ad un massimo 15 metri circa, allargando il rilevato esistente. Per quanto riguarda il profilo altimetrico si prevede un alzamento del piano del ferro fino ad un massimo di 90 cm circa.

Il progetto prevede inoltre: la realizzazione di una nuova opera di contenimento del rilevato ferroviario lato nord, nel tratto limitrofo a via Principe, costituita da una paratia di pali tipo CFA sormontati da una trave di coronamento, che si sviluppa per una lunghezza di circa 116 m; il prolungamento di due ponticelli esistenti; la traslazione della strada poderale che corre attualmente al piede del rilevato ferroviario e dell'adiacente fosso, che fungerà anche da bacino di laminazione. È inoltre prevista, in prima fase, l'installazione di una barriera antirumore per una lunghezza di 120 m sul lato nord, in corrispondenza del nucleo abitato limitrofo alla ferrovia, e la realizzazione delle fondazioni per la messa in opera, in seconda fase, di altre barriere antirumore, sia sul lato nord che quello sud, per complessivi ulteriori 430 m circa.

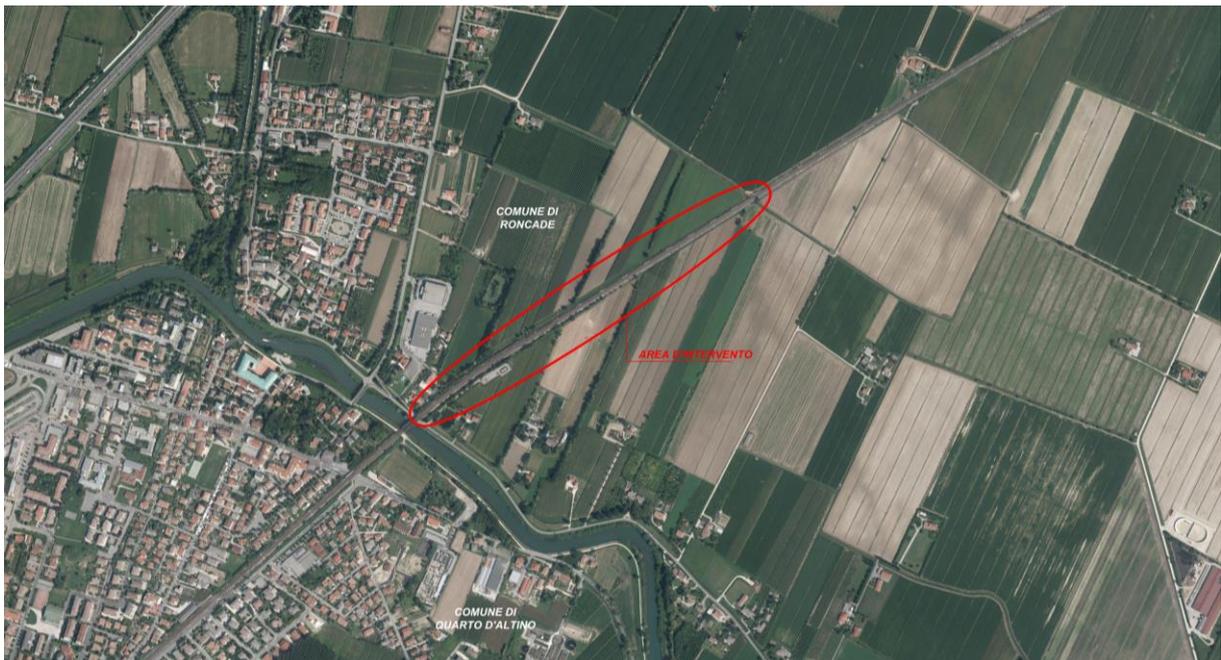


Figura 4-1 Individuazione dell'area di intervento

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

## 5 CARATTERISTICHE GENERALI DELLE OPERE

Nel presente capitolo sono riportate le caratteristiche generali delle barriere antirumore. In particolare si individuano le specifiche normative, le caratteristiche geometriche e dei materiali delle opere in oggetto.

### 5.1 Quadro normativo di riferimento

Le analisi e le verifiche di seguito documentate sono state svolte, in accordo a quanto prescritto nelle vigenti "Norme Tecniche delle Costruzioni" di cui al D.M.14/01/2008 (di seguito indicate con NTC), ricorrendo al metodo degli stati limite. Oltre a suddetta norma si è fatto riferimento al disciplinare RFI – Manuale di progettazione - Corpo stradale – per determinate prescrizioni, quando più restrittive rispetto alla Norma nazionale.

### 5.2 Caratteristiche barriere antirumore

Si riporta di seguito al descrizione della barriera antirumore standard per impieghi ferroviari tipo "HS" (Heavy Shell) e del relativo sistema modulare che, con un numero limitato di componenti, consente sia di superare i principali ostacoli presenti lungo la linea ferroviaria che non permettono il ripetersi indefinito di un unico modulo standard, sia di modificare l'altezza della barriera senza smontare tutta l'opera, ma solamente la sua parte terminale.

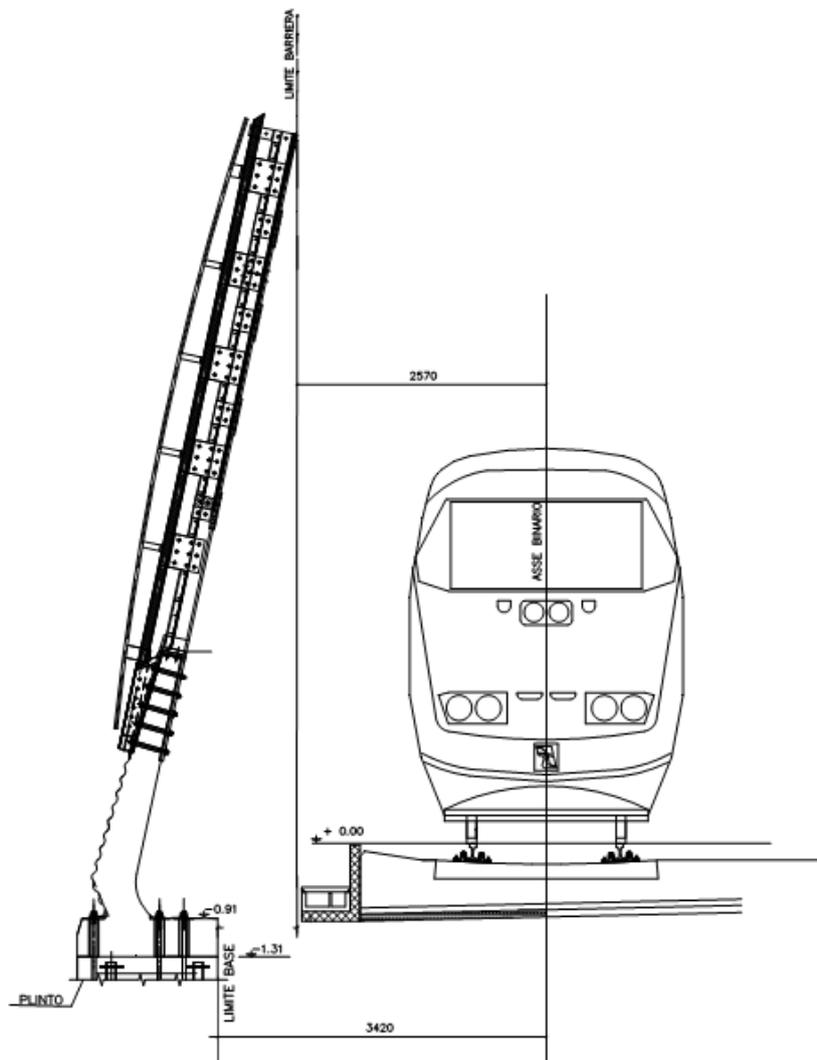
Il progetto architettonico prevede una barriera costituita da due parti distinte: una base prefabbricata in calcestruzzo armato fino a 2,00 m sul p.f. e una pannellatura acustica fino ad una altezza massima di circa 7,40 m sul p.f. sostenuta da montanti in acciaio posti ad un interasse tipico di 3.06 m.

Il profilo della barriera è inclinato di 12,0° verso il binario e, per altezze maggiori di 3.00 m sul p.f., presenta un oggetto finale maggiormente inclinato che nella maggior parte dei casi si estende fino ad una distanza di 2.57 m dall'asse del binario più vicino.

La base in c.a. e la relativa fondazione sono posizionate ad una distanza di 2.70 metri dal filo interno della più vicina rotaia (3,42 m dall'asse del binario) per evitare interferenze con l'esercizio e la manutenzione della linea. Il piano di posa delle basi in c.a. è parallelo al piano del ferro e posto a 1.31 m al di sotto dello stesso.

Per limitare il numero dei pezzi e per consentire questa variazione di altezza anche in tempi successivi, il dimensionamento del manufatto è stato effettuato considerando situazioni limite. Si è considerata la massima altezza di barriera ed una larghezza di 3.060 m relativa ad ogni montante. La verifica a fatica è stata effettuata a tempo infinito e con una sovrappressione dinamica pari a 460 N/m<sup>2</sup> indotta dal passaggio dei treni di forma non aerodinamica alla velocità di 200 Km/h. Le verifiche di resistenza e deformabilità sono state effettuate con tutti i carichi più una spinta totale dovuta al vento e alla sovrappressione dinamica indotta dal passaggio dei treni pari a 2.500 N/m<sup>2</sup>.

I manufatti così dimensionati saranno quindi utilizzabili in qualsiasi situazione con condizioni al contorno meno vincolanti.



**Figura 5-1** Barriera antirumore tipo “HS” di altezza massima pari a 7.38 m sul p.f.

Il modulo standard della base della barriera, denominato B-30A, è un manufatto in calcestruzzo armato prefabbricato sagomato ad L da posizionare a -1.31 m rispetto al piano del ferro; il suo peso è di circa 11 tonnellate e la sua altezza, compatibile con l’esigenza del trasporto su gomma, è pari a 3,346 metri; la suola orizzontale ha una larghezza di 1,45 m ed è collegata alla fondazione mediante 12 tirafondi. Lo spessore di c.a. è variabile da 0,231 m a 0,42 m circa.

Il modulo standard ospita al centro un montante di acciaio ed è progettato per un interasse teorico tra due montanti consecutivi di 3.06 m.

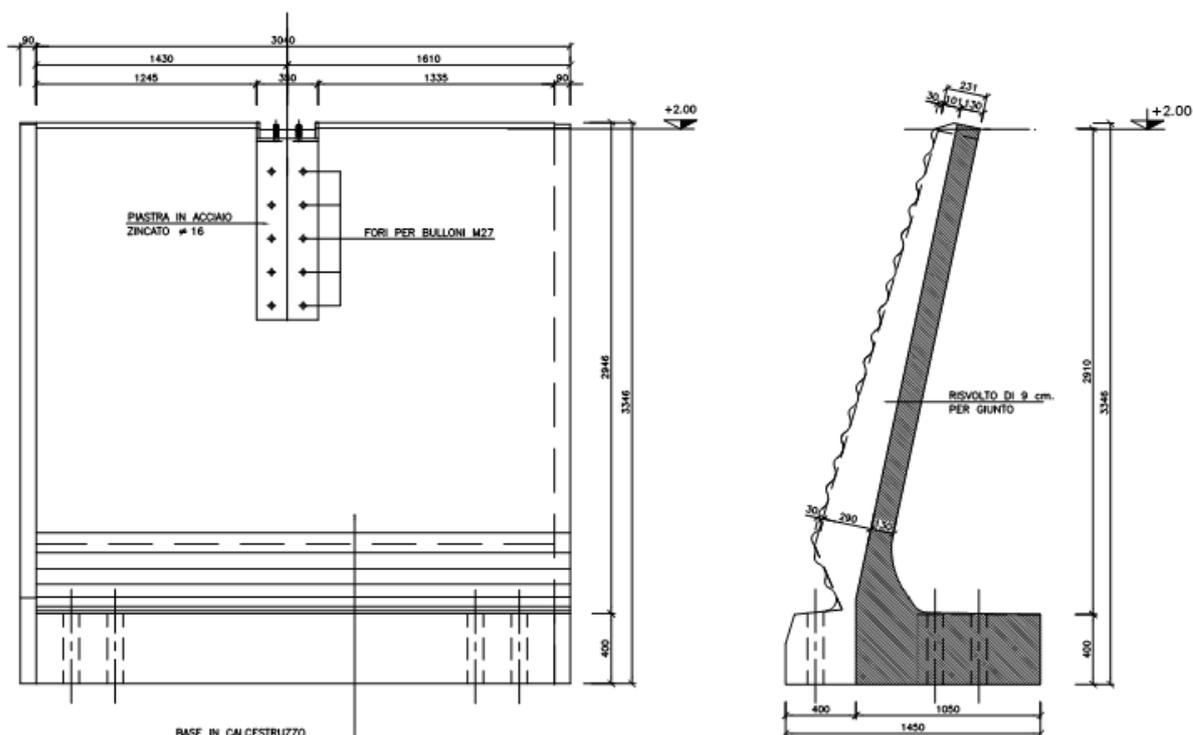


Figura 5-2 Plinto di accoppiamento dei moduli standard

Il montante in acciaio è posto in testa al manufatto in cls ed ha una inclinazione di  $12^\circ$  verso l'interno salvo che nella parte terminale ove, per barriere di altezza maggiore di 3 m sul piano del ferro, presenta normalmente un aggetto di lunghezza 1 m maggiormente inclinato e che può accostarsi fino a 2.57 m dall'asse del binario.

Il collegamento fra il montante in acciaio e la base in cls prevede dalla parte del montante una serie di piastre di spessore pari a 23 mm a forma di sella che vanno ad abbracciare quelle annegate nel getto in calcestruzzo.

Le due facce della U rovescia che costituisce la sella non sono parallele e quindi per poter serrare correttamente i 10 bulloni ad attrito devono essere saldate sulla piastra lato binario altrettante rondelle a forma di cuneo che ripristinano il parallelismo.

La sella inoltre, sulla faccia esterna rispetto al binario, presenta due piatti paralleli di spessore 16 mm saldati ortogonalmente nei quali sono predisposti sei fori allineati per bulloni M22 che consentono di ancorare un traliccio costituito da un tubo  $\Phi 88.9 \times 16$  e due tondi  $\Phi 30$  calandrati a formare ciascuno un arco in un piano diagonale; il collegamento sarà realizzato con un piatto di spessore 23 mm saldato alla estremità del tubo e che si inserisce fra i due predetti piatti della sella; fra questi piatti si prevede di inserire imbottiture in inox in modo da assicurarne il contatto perfetto.

Il collegamento così realizzato consente di smontare il traliccio senza smontare i pannelli fonoassorbenti e di poterlo sostituire in caso di variazione di altezza della barriera.

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

Le fondazioni sono realizzate mediante plinti discontinui posti alle estremità dei moduli che nel caso di accoppiamento dei moduli standard hanno una lunghezza di  $70+11+70=151$  cm, un'altezza di 65 cm ed una larghezza di 145 cm.

Il plinto standard alloggia dodici tirafondi  $\Phi 40$  e 4 micropali valvolati ed iniettati a pressione disposti in modo da ottimizzare il loro comportamento strutturale ed evitare interferenze reciproche nel loro posizionamento.

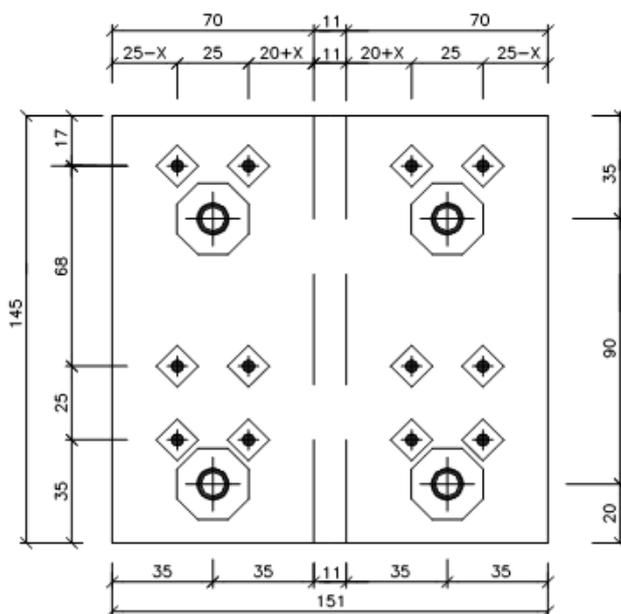


Figura 5-3 Plinto di accoppiamento dei moduli standard

### 5.3 Caratteristiche dei materiali

Si riporta di seguito l'elenco con le caratteristiche principali dei materiali utilizzati per la realizzazione dei vari elementi costituenti i manufatti.

#### 5.3.1 Strutture in cemento armato

I materiali per le strutture in cemento armato sono in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 – D.M. 14/01/2008), UNI EN 206:2006 e UNI 11104:2004 "Classi di esposizione per calcestruzzo strutturale".

#### Calcestruzzo

Il calcestruzzo ha le seguenti caratteristiche generali:

Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,2$
Coefficiente di espansione termica	$\alpha = 1,00 \times 10^{-5} 1/^{\circ}\text{C}$
Peso specifico (compresa l'armatura)	$\rho = 25 \text{ kN/m}^3$

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

Di seguito sono elencate le caratteristiche specifiche del calcestruzzo per i diversi tipi di impiego.

#### Manufatto prefabbricato

Classe di resistenza	C35/45
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} \geq 45 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} \geq 37,35 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico secante	$E = 34.625 \text{ N/mm}^2$
Copriferro nominale	35 mm

#### Strutture di fondazione

Classe di resistenza	C28/35
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} \geq 29,05 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico secante	$E = 32.588 \text{ N/mm}^2$
Copriferro nominale	40 mm

#### **Acciaio per armatura lenta**

L'acciaio ha le seguenti caratteristiche generali:

Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$
Coefficiente di espansione termica	$\alpha = 1,20 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Peso specifico	$\rho = 78,50 \text{ kN/m}^3$

Di seguito sono elencate le caratteristiche dell'acciaio per armatura lenta sono:

#### Barre

Tipo di acciaio	B450C
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Rapporto tensioni caratteristiche	$1,15 \leq (f_t/f_y)_k < 1,35$
Rapporto tensioni di snervamento	$(f_y/f_{y,nom})_k < 1,25$
Allungamento a carico massimo	$(A_{gt})_k \geq 7,5\%$

### 5.3.2 Strutture in carpenteria metallica

I materiali per le strutture in carpenteria metallica sono in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 – D.M. 14/01/2008). Si riportano per ogni tipologia le norme di riferimento europee.

L'acciaio ha le seguenti caratteristiche generali:

Modulo elastico	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0,3$

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

Coefficiente di espansione termica  $\alpha = 1,20 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$   
Peso specifico  $\rho = 78,50 \text{ kN/m}^3$

### **Acciaio per carpenteria**

#### Tirafondi, relativi piatti saldati e tubi della sella

Tipo di acciaio S355J2G3 (UNI EN 10025-5:2005)  
Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$   
Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$   
Resilienza minima  $K_v = 27 \text{ Joule}$   
Temperatura prova resilienza  $T = -20^\circ$

#### Elementi in acciaio saldato ( $t \leq 40 \text{ mm}$ ) e travi

Tipo di acciaio S275J2G3 (UNI EN 10025-5:2005)  
Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$   
Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$   
Resilienza minima  $K_v = 27 \text{ Joule}$   
Temperatura prova resilienza  $T = -20^\circ$

#### Elementi non saldati e profili

Tipo di acciaio S275J0 (UNI EN 10025-5:2005)  
Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$   
Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$   
Resilienza minima  $K_v = 27 \text{ Joule}$   
Temperatura prova resilienza  $T = -0^\circ$

#### Micropali

Tipo di acciaio S275JR (UNI EN 10025-5:2005)  
Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$   
Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$   
Resilienza minima  $K_v = 27 \text{ Joule}$   
Temperatura prova resilienza  $T = -20^\circ$

### **Bulloni ad alta resistenza**

#### Viti

Classe 8.8 (UNI EN 14399-4:2005)  
Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yb} \geq 640 \text{ N/mm}^2$   
Tensione caratteristica di rottura  $f_{uk} \geq 800 \text{ N/mm}^2$

#### Dadi

Classe 8 (UNI EN 14399-4:2005)  
(UNI EN 20898-2:1994)  
Durezza HV = 272÷353

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

### Rosette

Tipo di acciaio	C50 (UNI EN 14399-6:2005) (UNI EN 10083-2:2006)
Resistenza a snervamento	$R_e = 460 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione	$R_m = 700\div 850 \text{ N/mm}^2$
Durezza	HRC = 32÷40
Trattamento termico	Tempra e rinvenimento

## 5.4 Metodi di calcolo

Per la determinazione delle sollecitazioni in fondazione si fa riferimento alla relazione di calcolo prodotta da RFI - BARRIERE ANTIRUMORE STANDARD PER IMPIEGHI FERROVIARI – TIPO “HS”.

Nella relazione citata, in base alla geometria presentata nella relazione tecnica illustrativa, sono state calcolate le sollecitazioni sulle strutture che rappresentano situazioni limite e che quindi sono rappresentative anche per la verifica delle altre situazioni.

Il montante della barriera è stata dimensionato cercando di rispecchiare il progetto architettonico originale (mantenendo il tubolare da 88,9 mm e i tondi da 30 mm) mentre il profilo reggipannello è stato sostituito per consentire l'alloggiamento dei pannelli con le richieste tolleranze con una mezza HEA500; la distanza fra HEA e tubo è stata fissata in 140 mm sempre per non allontanare troppo il tubo dal profilo che sorregge il pannello rispetto a quanto previsto nel progetto architettonico.

Si sono quindi progettati/verificati il manufatto ed i collegamenti sia a fatica a tempo infinito con una sovrappressione dinamica indotta dal passaggio dei treni di forma non aerodinamica alla velocità di 200 km/h, pari a  $460 \text{ N/m}^2$ , sia a resistenza e deformabilità con tutti i carichi più una spinta totale limite dovuta a vento + sovrappressione dinamica indotta dal passaggio dei treni, pari a  $2500 \text{ N/m}^2$ .

## 5.5 Caratterizzazione geotecnica e stratigrafica

Per la caratterizzazione geotecnica e stratigrafica si rimanda agli specifici documenti del progetto definitivo, in particolare agli elaborati del gruppo “Geologia e indagini geognostiche”:

- Relazione geologica
- Allegato 0 – Ubicazione delle prove penetrometriche, dei sondaggi e degli stendimenti geofisici
- Allegato 1 – Tabelle riassuntive Prove CPTU e Prove CPT
- Allegato 2 – Dati di Campagna CPTU
- Allegato 3 – Dati di Campagna CPT
- Allegato 4 – Grafici ed Elaborazioni Parametri Meccanici CPTU
- Allegato 5 – Grafici ed Elaborazioni Parametri Meccanici CPT
- Allegato 6 – Tabelle Sondaggi, Prove di laboratorio, Elaborazione SPT
- Allegato 7 – Elaborazione Prove Lefrac

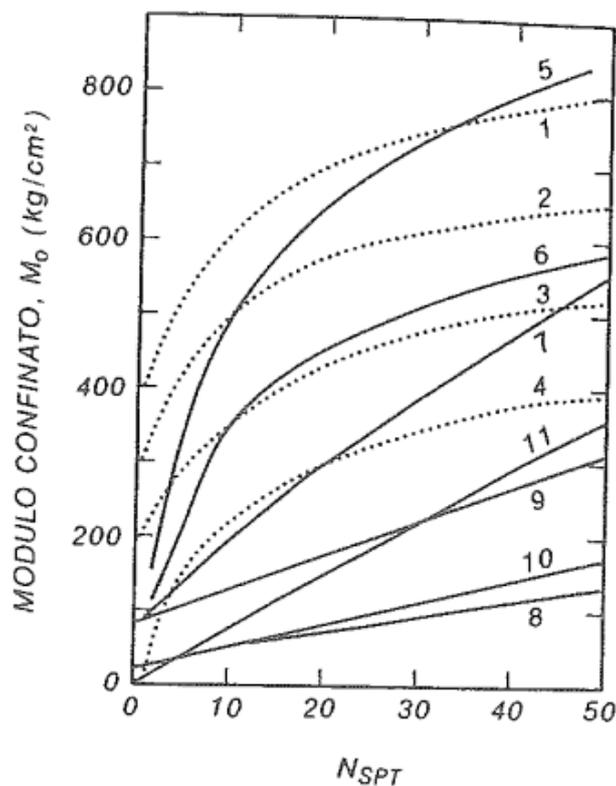
Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

- Allegato 8 – Elaborazione Prove di Dissipazione
- Allegato 9 – Risultati Tomografia Elettrica
- Allegato 10 – Elaborazione ReMI e Masw
- Allegato 11 – Modello stratigrafico
- Allegato 12 – Modello geotecnico
- Allegato 13 – Documentazione fotografica

Per le verifiche geotecniche della fondazione delle barriere si individuano due tipologie di terreno attraversate dai micropali. Il primo tratto (profondità da 3÷5 m) si trova sul rilevato che per ipotesi progettuali è caratterizzato da un terreno granulare avere una densità secca pari al 95% e un modulo di deformazione pari a  $M_0 = 200 \text{ daN/cm}^2$ . Mentre per il terreno al di sotto del rilevato (profondità 4÷6 m) si considera un terreno avente un valore medio (a favore di sicurezza) di  $N_{STP} = 10$  colpi.

Per il rilevato si determina la correlazione tra il modulo di deformazione e la prova  $N_{STP}$  attraverso l'abaco (si veda figura 5-4) proposto da Mitchell e Gardner (1975). Considerando una sabbia (linea 9) si determina un valore (attendibile) di  $N_{STP} = 20$  colpi.

Con i parametri della prova penetrometrica così definiti si riportano, nel relativo paragrafo, le verifiche geotecniche della fondazione.



*Shultze e Mezenbach (1965)*

1.  $p_o = 0 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
2.  $p_o = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
3.  $p_o = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
4.  $p_o = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

*Trofimenkov (1974)*

5. Sabbia-Minimo
6. Sabbia-Massimo

*Begemann (1974)*

7. Ghiaia con sabbia (Grecia)
8. Limo con sabbia (Grecia)

*Webb (1969)*

9. Sabbia
10. Sabbia argillosa

*Farrent (1963)*

11. Sabbia

**Figura 5-4** Relazioni tra modulo confinato  $M_0$  ed prova  $N_{SPT}$  per differenti tipi di sabbie e diversi valori pressioni della pressione verticale (Mitchell e Gardner 1975).

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

## 6 ANALISI FONDAZIONI

Nel presente capitolo si riporta l'analisi strutturale della fondazione delle barriere antirumore. La fondazione di tipo profondo ed è realizzata mediante micropali del tipo valvolato iniettati a pressione con armatura in acciaio S275 (Fe430B).

### 6.1 Analisi dei carichi

Per l'analisi dei carichi agenti sulla fondazione si fa riferimento alla Relazione di calcolo – Barriere antirumore standard per impieghi ferroviari - tipo HS. Nella quale sono stati dimensionati tutti gli elementi costituenti la barriera per le condizioni di sollecitazione massime nella configurazione di dimensione maggiore.

#### 6.1.1 Sollecitazioni massime

Gli sforzi assiali sul singolo micropalo di sinistra o di destra ed il taglio totale all'intradosso del plinto sono i seguenti:

Condizione di carico	$F_{sx}$ [N]	$F_{dx}$ [N]	$T_2$ [N]
Perm.+Vento+Sovrapp. Max (M)	-227878	153186	-31747
Perm.+Vento+Sovrapp. Min (M)	144945	-240526	31747

### 6.2 Verifica geotecnica

I micropali utilizzati per la fondazione delle barriere antirumore saranno del tipo valvolati iniettati a pressione con armatura in acciaio S275 (Fe430B) di lunghezza 11,00 m. Il diametro di perforazione, al fine di poter operare in linea con macchinari di ridotte dimensioni, è di 225 cm e l'armatura è costituita da un tubo  $\Phi$  177,8 mm con spessore 10 mm. Il copriferro dei micropali è quindi circa 2,3 cm, in linea con le prescrizioni RFI.

L'ancoraggio nel calcestruzzo è realizzato mediante piastre ottagonali di dimensioni lorde 270 x 270 x 25 con lati da 112 mm, saldate ai micropali tramite doppi cordoni d'angolo su ciascun piatto di dimensioni 10x10 mm.

#### 6.2.1 Calcolo della capacità portante verticale del micropalo

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

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

NSPT e/o pL (pressione laterale limite) dei terreni attraversati. I micropali vengono distinti in due categorie:

- micropali eseguiti con iniezioni ripetute e controllate con tubo a valvole e doppio otturatore (IRS, injection repetitive et selective).
- micropali eseguiti con getto dell'intero palo in un'unica soluzione (IGU, injection globale inique).

Il metodo si avvale, per la capacità portante ultima della relazione:

$$Q_{lim} = Q_{ll} + Q_{pl}$$

dove  $Q_{ll}$ : portata laterale limite:  $Q_{ll} = \pi \cdot D_b \cdot L_p \cdot q_s$

con  $D_b$  = diametro reso del micropalo =  $\alpha \cdot D_s$  ;

$D_s$  = diametro di perforazione;

$L_p$  = lunghezza della zona iniettata;

$\alpha$  = coefficiente adimensionale che tiene conto della tecnica di esecuzione dei micropali e del tipo di terreno (vedi tabella A). In via cautelativa si può adottare un coefficiente  $\alpha$  pari ad 1.1 per la parte IGU e 1.2 per la parte IRS, cioè i valori minimi per ognuna delle due categorie di micropali;

$q_s$  = portata laterale unitaria stabilita in funzione del valore NSPT o pL. È ricavabile tramite i grafici messi a punto dall' "École Nationale des Ponts et Chaussées" in base a numerose prove di carico a rottura (267) per vari tipi di terreno e per le due tecniche di realizzazione del micropalo. Tali grafici vengono riportati alle pagine seguenti nelle figure I, II, III e IV.

$Q_{pl}$ : portata alla punta ultima. Dato l'alto rapporto esistente fra superficie laterale portante e superficie della punta del palo, normalmente, per i micropali, si considera un valore della portata alla punta pari al 15% della portata laterale.

La peculiarità del calcolo per un micropalo consiste nella scelta di  $D_s$  e nella determinazione di  $q_s$  e di  $L_p$ .

In ogni caso, visto che il tratto iniettato del micropalo raggiunge la superficie del terreno, RFI raccomanda che, per i primi 5 metri, esso venga considerato in ogni caso del tipo IG. e che la lunghezza  $L_p$ , depurata di tale tratto, deve comunque essere pari ad almeno 4 metri.

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

La capacità portante verticale si calcolerà pertanto per integrazione dei valori di  $Q_{lim}$  trovati per il tratto di tipo IGU e per quello di tipo IRS.

Si riportano di seguito i diagrammi utilizzati per ricavare il valore di  $q_s$  in funzione del tipo di terreno e delle sue caratteristiche di resistenza nonché dalla tecnica di realizzazione del micropalo.

$q_s$  (MPa)

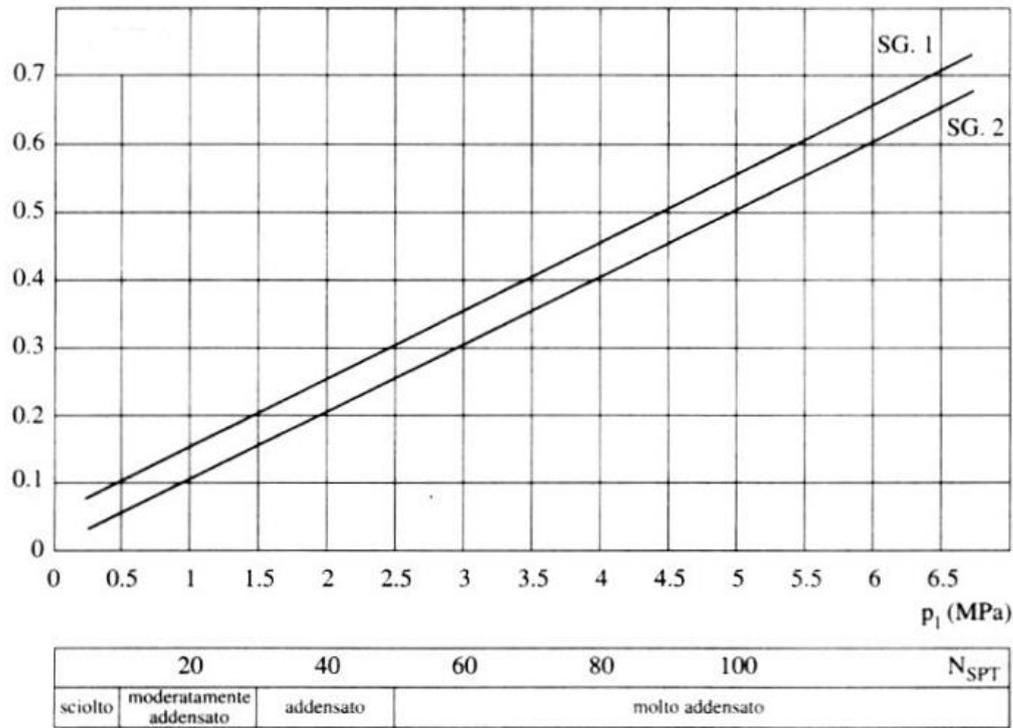


Figura I: Abaco per il calcolo di  $q_s$  per sabbie e ghiaie.

$q_s$  (MPa)

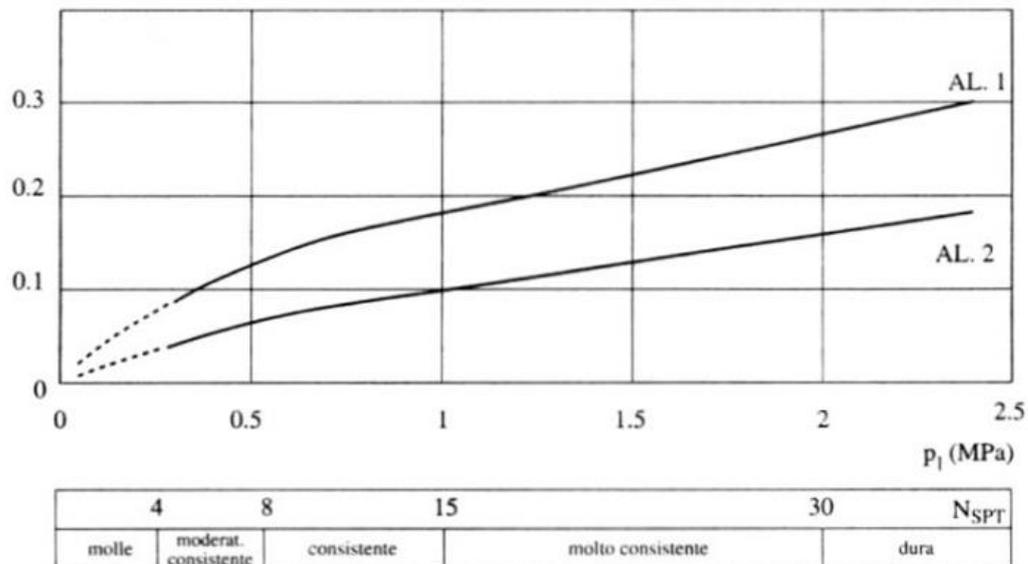


Figura II: Abaco per il calcolo di  $q_s$  per argille e limi.

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

**Tabella A: Valori del coefficiente  $\alpha$ ;  $V_s = L_p \cdot \frac{\pi D_s^2}{4}$**

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

**Tabella B: indicazioni per la scelta del valore  $q_s$**

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

In funzione delle condizioni locali del terreno si tiene conto dell'effetto di gruppo della palificata definendo un coefficiente riduttivo  $\eta = 0,8$  della capacità portante. Si può a questo punto calcolare la capacità portante ammissibile del micropalo per sforzo N di compressione e/o trazione secondo le seguenti formule:

$$a) \quad Q_{amm,comp} = \frac{Q_{lim}}{F_s} - W_p$$

$$b) \quad Q_{amm,traz} = \frac{Q_{lim}-Q_{pl}}{F_s} + W_p$$

in cui:

$F_s = 2,5$  (coefficiente di sicurezza minimo richiesto dalla normativa)

$W_p = \gamma_{cls} \cdot A_b \cdot L_p$  (peso del micropalo)

I valori delle capacità portanti andranno confrontati con il massimo valore del carico verticale che si applica al micropalo per sforzo N di compressione e/o trazione.

Dalla analisi dei carichi i valori massimi di sollecitazione del palo sono:

- Carico sul tubo in compressione = -240526 N
- Carico sul tubo in trazione = 153186 N

Di seguito si riporta il dimensionamento della lunghezza minima del micropalo.

## VERIFICA PORTANZA

### Dati micropalo

diametro perforazione	$D_s =$	225.0 mm
tubo armatura	$\Phi =$	177.8 mm
	$s =$	10.0 mm
coefficiente di gruppo	$\eta =$	0.80
lunghezza totale palo	$L =$	9.00 m
peso micropalo ( $D_b$ )	$W_p =$	12.88 kN

Materiale rilevato	$L_{IGU} =$	5.00 m
sabbia - $N_{STP} = 20$	$q_{s,IGU} =$	0.10 N/mm <sup>2</sup>
	$\alpha_{IGU} =$	1.10
Materiale p.c.	$L_{IGU} =$	4.00 m
argilla - $N_{STP} = 10$	$q_{s,IRS} =$	0.12 N/mm <sup>3</sup>
	$\alpha_{IRS} =$	1.20

Coeff. di portata punta	$\beta =$	1.15
Coeff. di sicurezza	$F_s =$	2.50

Compresione	$Q_{amm,c} =$	280.02 kN	>	240.53 kN
Trazione	$Q_{amm,t} =$	267.58 kN	>	153.19 kN

Trovandosi l'opera su rilevato ferroviario, la lunghezza del micropalo così calcolata dovrà essere aumentata di 2 metri per tenere in conto il ridotto stato di addensamento del terreno in prossimità della scarpata del rilevato stesso.

Quindi la lunghezza di progetto del micropalo è pari a:

$$L_{mp} = 11,00 \text{ m}$$

Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

## 6.2.2 Calcolo della capacità portante orizzontale del micropalo

La valutazione dello stato di sollecitazione dei micropali in condizioni di esercizio può essere effettuata assimilando il terreno ad un mezzo alla Winkler, costituito da un letto di molle orizzontali indipendenti l'una dall'altra.

Nell'ipotesi di  $k_h$  (coefficiente di reazione orizzontale del terreno) costante con la profondità, l'equazione differenziale che governa lo spostamento di un palo caricato lateralmente è:

$$E \cdot J \cdot \frac{d^4 y}{dz^4} + k_h \cdot D_b \cdot y = 0$$

in cui:

$E$  = modulo elastico longitudinale del micropalo

$J$  = momento d'inerzia del micropalo

$y$  = spostamento orizzontale rispetto alla direzione verticale

L'equazione si può anche scrivere nella forma:

$$\frac{d^4 y}{dz^4} + \frac{4}{\lambda^4} \cdot y = 0$$

in cui

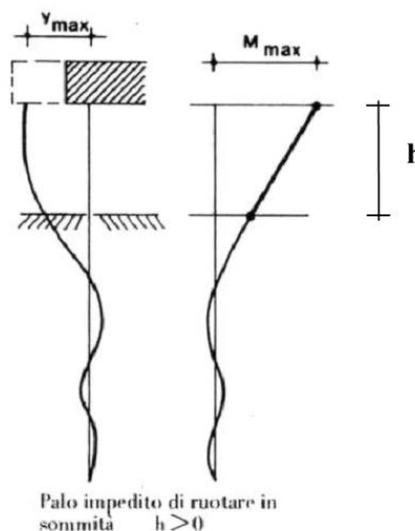
$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot J}{k_h \cdot D_b}}$$

è la lunghezza caratteristica del micropalo.

Dalla risoluzione dell'equazione differenziale per un micropalo soggetto ad una forza orizzontale  $H = T$  applicata in testa, sporgente dal terreno di  $h = 2.00$  m (nel caso di rilevato) ed impedito di ruotare in testa per l'incastro determinato dal plinto, il massimo valore del momento e del taglio agenti sul palo valgono:

$$M_{max} = 0,5 \cdot H \cdot (h + \lambda)$$

$$T_{max} = H$$



Linea: VENEZIA - TRIESTE Località: QUARTO D'ALTINO – RONCADE Progettazione definitiva dell'intervento di modifica di tracciato della linea ferroviaria Venezia - Trieste tra il km 15+600 ed il km 17+800 circa, ai fini della velocizzazione della tratta Venezia Mestre - Portogruaro	BARRIERA ANTIRUMORE	11.09.2015
	MANR02B	Rev. B

### 6.3 Verifica strutturale

Si riporta di seguito al verifica strutturale del tubo scelto come armatura del micropalo:

- tubo  $\Phi$  177,8 mm con spessore 10 mm.

Dai dati riportati nell'analisi dei carichi si determinano le azioni massime:

$N^- = -240526$  N (compressione)

$N^+ = +153186$  N (trazione)

$T_{max} = T_{2max}/2 = 15874$  N

#### 6.3.1 Verifica resistenza tubo

In accordo con le formule riportate nel paragrafo 6.2.2 si determinano le massime sollecitazioni agenti sulla testa palo  $M_{max}$  e  $T_{max}$ .

Si riporta di seguito la verifica del tubo:

## VERIFICA ARMATURA

### Proprietà tubo

Area tubo	$A_s =$	5 272 mm <sup>2</sup>
momento di inerzia tubo	$J_s =$	18 619 818 mm <sup>4</sup>
Modulo di resistenza	$W_s =$	209 447 mm <sup>3</sup>
Area di taglio	$A_{st} =$	2 636 mm <sup>2</sup>

coeff. addensamento terr.	$A =$	450 mm
peso specifico terreno	$\gamma =$	17.00 kN/m <sup>3</sup>
	$n_h =$	0.0057 N/mm <sup>3</sup>
coefficiente di gruppo	$c_g =$	0.50
	$z =$	4 000 mm
	$d = D_d =$	250 mm
Coeff. reaz. orizz. Terreno	$k_h =$	0.04533 N/mm <sup>3</sup>
modulo elastico cls	$E =$	28 500 N/mm <sup>2</sup>

momento di inerzia cls	$J_c =$	191 747 598 mm <sup>4</sup>
momento di inerzia totale	$J =$	303 466 507 mm <sup>4</sup>
	$L_0 =$	1 322 mm
	$T_{max} = H =$	15 874 N
	$M_{max} =$	26 365 096 Nmm
	$N_{max,t} =$	153 186 N
	$N_{max,c} =$	240 526 N

### Verifica a trazione

$\sigma =$	154.94 N/mm <sup>2</sup>	
$\tau =$	6.02 N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{id} =$	155.29 N/mm <sup>2</sup>	< 190.00 N/mm <sup>2</sup>

### Verifica a compressione

$\sigma =$	171.51 N/mm <sup>2</sup>	
$\tau =$	6.02 N/mm <sup>2</sup>	
$\sigma_{id} =$	171.82 N/mm <sup>2</sup>	< 190.00 N/mm <sup>2</sup>