

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

**OPERE CIVILI**

Barriere antirumore

Relazione di calcolo fondazioni Barriere Antirumore

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 78 CL IM0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	A.Di Costanzo	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	D.Tiberti Gen-2020

ITA Progetti S.p.A.  
Via Salaria, 100 - 00198 Roma  
Ufficio di Direzione Progettazione  
Ufficio di Direzione Progettazione

1. PREMESSA .....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	2
3. MATERIALI .....	3
3.1 CALCESTRUZZO CORDOLO FONDAZIONE .....	3
3.2 CALCESTRUZZO MICROPALI.....	3
3.3 ACCIAIO D'ARMATURA .....	4
3.4 ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA.....	5
3.5 ACCIAIO PER MICROPALI E RELATIVI PIATTI .....	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	6
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	7
5.1 RILEVATO FERROVIARIO.....	7
5.2 UNITÀ AV – GRUPPO DELLE ARGILLE VARIEGATE .....	8
6. CALCOLO DELLE FONDAZIONI B.A. ....	8
6.1 SOLLECITAZIONI ELEMENTARI.....	8
6.2 COMBINAZIONI DI CARICO.....	9
6.3 CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE DEI MICROPALI .....	11
6.4 TRAVE DI FONDAZIONE.....	20

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA LERCARA DIR- CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)          BARRIERE ANTIRUMORE</b>					
Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IM 00 00 001	REV. A	FOGLIO 2 di 25

## 1. PREMESSA

Nell'ambito della Diretrice Ferroviaria Messina – Catania – Palermo, Nuovo Collegamento Palermo – Catania, Tratta Lercara Dir. – Caltanissetta Xirbi (Lotto 3).

La presente relazione si riferisce al calcolo delle sottofondazioni delle barriere antirumore previste nell'ambito del Progetto.

Le barriere antirumore sono posizionate dalla progressiva chilometrica 46+329 alla 46+435 dopo l'imbocco est della galleria naturale Xirbi e sono denominate F2BA01 e sono di tipo H0.

Per quanto riguarda gli aspetti geotecnici, la presente relazione è stata redatta in conformità al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 17.01.2018 e alla Circolare Ministeriale LL.PP. N. 21 Gennaio 2019, n. 7, nonché facendo riferimento alle specifiche tecniche previste in ambito ferroviario e riportate nel paragrafo successivo.

Nel seguito, dopo una analisi accurata dei risultati di prove in situ e in laboratorio, previo un breve inquadramento geologico, è stata condotta la caratterizzazione geotecnica dei terreni attraverso la definizione di parametri caratteristici. Infine è riportato il dimensionamento della fondazioni.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Rif. [1] Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- Rif. [2] Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- Rif. [3] Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010 – Eurocodice 1 – Parte 2;
- Rif. [4] RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21-12-18 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- Rif. [5] RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21-12-18 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- Rif. [6] MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI - PARTE II - SEZIONE 1 – AMBIENTE - ALLEGATO A10RFI DTC SI AM MA IFS 001 B

### 3. MATERIALI

In accordo con il “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI - PARTE II - SEZIONE 1 – AMBIENTE - ALLEGATO A10” si assumono i seguenti materiali.

#### 3.1 Calcestruzzo cordolo fondazione

$R_{ck}$  - Resistenza cubica a compressione = 35 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  - Resistenza cilindrica a compressione = 28 N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm}$  - Resistenza cilindrica media a compressione =  $f_{ck} + 8 = 36$  N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_{cc}$  ( $t > 28$ gg) - Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli = 0.85

$\gamma_c$  - Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo. Viene ridotto a 1.40 per produzioni continuative di elementi o strutture soggette a controllo continuativo del calcestruzzo dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valore medio della resistenza) non superiore al 10% = 1.50

$f_{cd} = (\alpha_{cc} \cdot f_{ck}) / \gamma_c$  - Resistenza di calcolo a compressione = 15.9 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3}$  [per classi  $\leq$  C50/60] - Resistenza cilindrica media a trazione = 2.8 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$  - Resistenza cilindrica caratteristica a trazione = 2.0 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$  - Resistenza di calcolo a trazione = 1.5 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm}$  - Resistenza media a trazione per flessione = 1.3 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$  - Resistenza cilindrica caratteristica a trazione = 0.9 N/mm<sup>2</sup>

$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3}$  - Modulo elastico = 32308 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).

#### 3.2 Calcestruzzo micropali

$R_{ck}$  - Resistenza cubica a compressione = 25 N/mm<sup>2</sup>

$f_{ck}$  - Resistenza cilindrica a compressione = 20 N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm}$  - Resistenza cilindrica media a compressione =  $f_{ck} + 8 = 28$  N/mm<sup>2</sup>

$\alpha_{cc}$  ( $t > 28$ gg) - Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli = 0.85

$\gamma_c$  - Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo. Viene ridotto a 1.40 per produzioni continuative di elementi o strutture soggette a controllo continuativo del calcestruzzo dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valore medio della resistenza) non superiore al 10% = 1.50

$$f_{cd} = (\alpha_{cc} \cdot f_{ck}) / \gamma_c - \text{Resistenza di calcolo a compressione} = 15.9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} \text{ [per classi } \leq \text{C50/60]} - \text{Resistenza cilindrica media a trazione} = 2.2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} - \text{Resistenza cilindrica caratteristica a trazione} = 1.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c - \text{Resistenza di calcolo a trazione} = 1 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm} - \text{Resistenza media a trazione per flessione} = 2.6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} - \text{Resistenza cilindrica caratteristica a trazione} = 1.8 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} - \text{Modulo elastico} = 29962 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Peso proprio } \gamma_c = 25000 \text{ N/m}^3$$

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).

### 3.3 Acciaio d'armatura

L'acciaio utilizzato è ad aderenza migliorata tipo B450C ed è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura:

$$f_{y, \text{nom}} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t, \text{nom}} = 540 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo dell'acciaio per la verifica agli SLU ( $\gamma_s=1.15$ ):

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 0.186\%$$

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	5 di 25

### 3.4 Acciaio per carpenteria metallica

ACCIAIO S275J0	UNI EN 10025	per profili e lamiere non saldate
ACCIAIO S275J2G3	UNI EN 10025	per travi ed elementi saldati, tirafondi e tubi della sella

Si è quindi assunto nelle verifiche un acciaio S275J0 che in accordo alle indicazioni di normativa presenta le seguenti caratteristiche meccaniche:

S275 J0	UNI EN 10025	per profilati e lamiere non saldate	$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$
S275 J2G3	UNI EN 10025	per travi ed elementi saldati, Tirafondi e tubi della sella	$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$

Modulo elastico  $E_s = 2.10E+11 \text{ N/m}^2$

### 3.5 Acciaio per micropali e relativi piatti

Si è assunto nelle verifiche un acciaio S275JR (ex Fe430B) che in accordo alle indicazioni di normativa presenta le seguenti caratteristiche meccaniche:

S275 JR	UNI EN 10025	per profilati e lamiere non saldate	$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$ $f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$
---------	--------------	-------------------------------------	--

Modulo elastico  $E_s = 2.10E+11 \text{ N/m}^2$

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per la caratterizzazione geotecnica del sito si è fatto riferimento al documento “RS3T.3.0.D.78.GE.GE.00.0.0.002.B- Relazione geotecnica generale - Lotto 3B”, di seguito si riporta uno stralcio del profilo stratigrafico. Come è possibile osservare dopo i primi metri di coltre che sono rimossi con scotico e bonifica il rilevato poggia sull’argille variegata AV

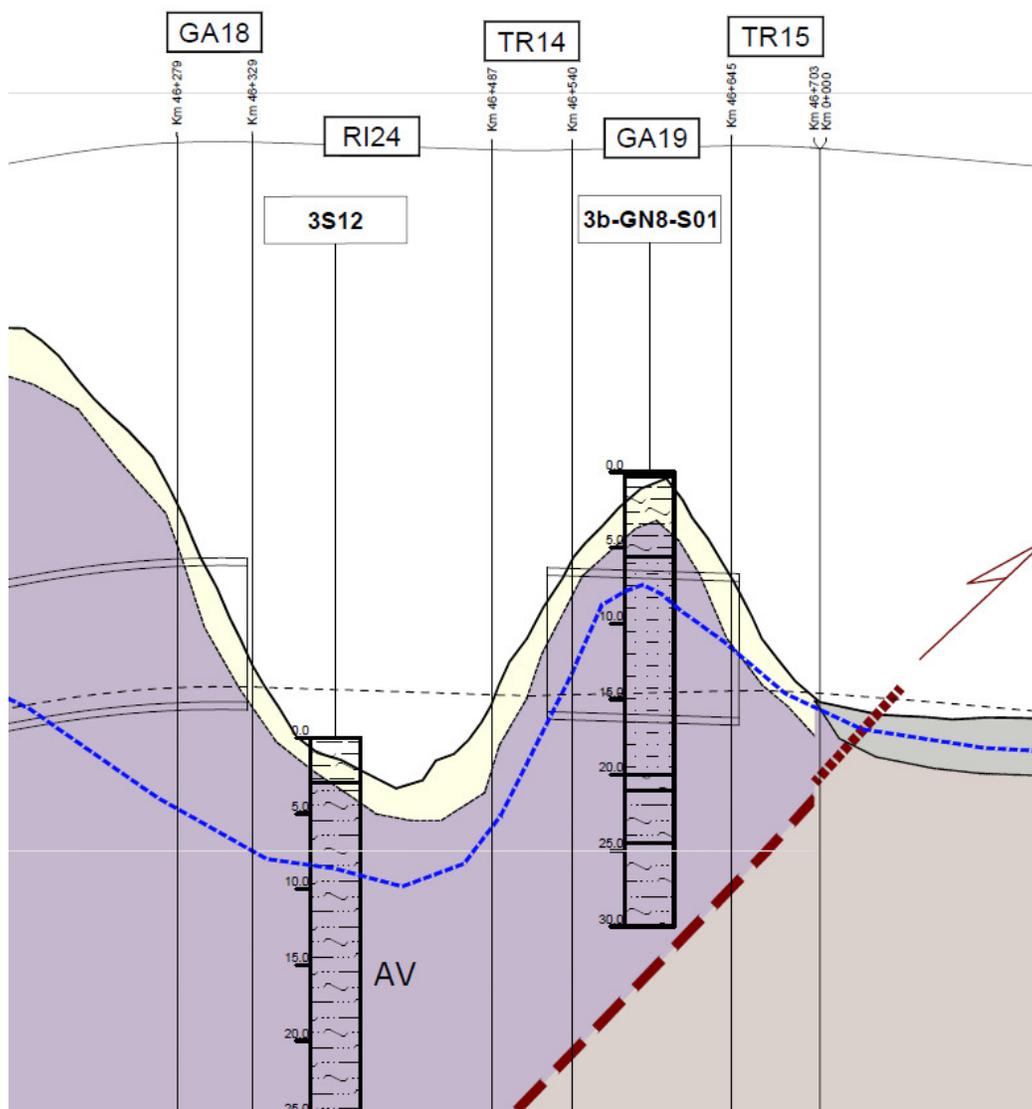


Figura 1 – Stralcio del profilo stratigrafico in corrispondenza della barriera antirumore F2BA01.

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Sulla base della caratterizzazione geotecnica eseguita a valle dell'inquadramento geologico e sulla base della valutazione dell'andamento piano altimetrico del tracciato, sono stati individuati i parametri meccanici sulla base dei quali effettuare la verifica del sistema di sottofondazione adottato. In particolare, i micropali interesseranno in molti casi il rilevato ferroviario, oltre che il terreno. Si riportano di seguito i criteri di valutazione dei parametri meccanici dei terreni.

### 5.1 Rilevato ferroviario

La specifica RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 - "Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie" – fornisce i seguenti valori dei parametri geotecnici caratteristici.

$\gamma = 20 \text{ kN/mc}$  peso di volume

$\varphi' = 38^\circ$  angolo di attrito

$c' = 0$  coesione efficace

Nel caso in cui il micropalo interessasse interamente tale strato, si sarebbe in un caso di l'altezza del rilevato pari a circa 10 m. La tensione efficace media sarebbe pari a:

$$\sigma'_v = \frac{20 \times 10}{2} = 100 \text{ kPa}$$

La figura seguente mostra la correlazione di Schmertmann (1975), che corrisponde all'equazione (Kulhawy e Mayne, 1980), utilizzata per la stima del valore di  $N_{SPT}$  utilizzato nelle verifiche. Risulta un valore di  $N_{SPT}$  pari a ~15, considerato pari a 10 a vantaggio di sicurezza.

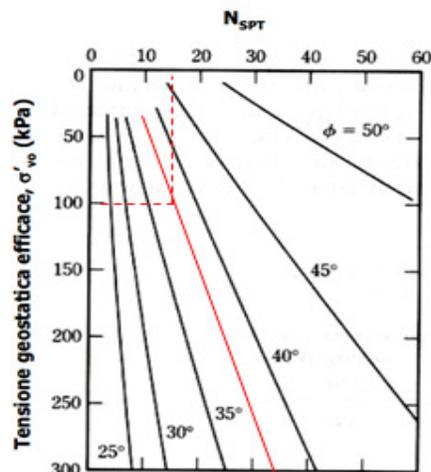


Figura 12.10 - Stima di  $\phi'$  da  $N_{SPT}$  secondo Schmertmann (1975)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR- CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>BARRIERE ANTIRUMORE</b>					
	Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IM 00 00 001	REV. A

## 5.2 Unità AV – Gruppo delle Argille Variegata

Si tratta di piana batiale e base scarpata, costituiti da prevalenti argilliti scagliettate a struttura caotica, di colore variabile da rosso vinaccia, a verde, a grigio ferro, contenenti intercalazioni di spessore decimetrico di radiolariti grigio-verdi e rossastre a frattura prismatica, arenarie fini e calcisiltiti e calcareniti grigie e nocciola con patine manganesifere in strati di spessore centimetrico a decimetrico.

Si tratta di una successione estremamente tettonizzata, caratterizzata dalla presenza di numerose zone di taglio. Al suo interno sono inclusi elementi tettonici di dimensioni variabili da poche decine di metri fino a qualche chilometro, costituiti da lembi di altre formazioni appartenenti a differenti domini paleogeografici. In particolare: blocchi di basalti afirici, calcari detritici di piattaforma con frammenti di echinidi, rudiste e alghe, calcari marnosi biancastri e marne rosate tipo “Scaglia” con associazioni a fioraminiferi planctonici e blocchi di arenarie glauconitiche grigio-verdastre con intercalati livelli di marne grigio-brune. Lo spessore di questa successione è difficilmente definibile, comunque superiore ai 300 metri, e presumibilmente fino a 1000 metri.

## 6. CALCOLO DELLE FONDAZIONI B.A.

Coerentemente alle indicazioni contenute nelle specifiche tecniche di progettazione RFI, sono state previste fondazioni indirette attraverso l'utilizzo di cordoli su micropali.

In particolare, si prevedono:

- un cordolo continuo in c.a. gettato in opera con sezione trasversale di larghezza 105 cm ed altezza 55 cm;
- 2 micropali  $\Phi$  250 valvolati iniettati a pressione, mediante tecnologia IRS, posti ad interasse longitudinale  $i=1.50$  m con tubolare di armature  $\Phi$  168.3 di spessore 8 mm e lunghezza 6.00 m, che vanno aumentate di 2.0 m in caso di realizzazione su rilevato. Si procede al dimensionamento e alla verifica strutturale e geotecnica dei micropali.

### 6.1 Sollecitazioni elementari

Le sollecitazioni elementari sono state calcolate nel Manuale Di Progettazione Delle Opere Civili - Parte II - Sezione 1 – Ambiente - Allegato A10RFI DTC SI AM MA IFS 001 B di cui si riportano alcuni paragrafi relativi proprio alla barriera H0.

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.

Di seguito le azioni massime di sforzo normale di compressione e di trazione e il relativo taglio agenti sul singolo micropalo per la combinazione SLU1:

		COMPRESSIONE	TRAZIONE
<b>N</b>	<b>(kN)</b>	68.88	-29.93
<b>T</b>	<b>(kN)</b>	7.05	7.05

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR- CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) BARRIERE ANTIRUMORE					
	Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IM 00 00 001	REV. A

## 6.2 Combinazioni di carico

Le azioni elementari vengono combinate come prescritto dalla Normativa di riferimento:

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

I coefficienti  $\gamma$  e  $\psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti:

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_E$ (o $\gamma_D$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

Si utilizza l'approccio 2 con la combinazione A1+M1+R3 con i coefficienti nella precedente tabella e nelle seguenti tabelle:

**Tab. 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	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\psi$	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	$\gamma_Y$	$\gamma_Y$	1,0	1,0

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
<b>RS3T</b>	<b>30</b>	D 78 CL	IM 00 00 001	A	10 di 25

Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi (R3)	Pali trivellati (R3)	Pali ad elica continua (R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale <sup>1)</sup>	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

<sup>1)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR– CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>BARRIERE ANTIRUMORE</b>					
	Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30</b>	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IM 00 00 001	REV. A

### 6.3 Capacità portante verticale dei micropali

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  $N_{SPT}$  e/o  $p_L$  (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 répétitive et selective). Appartengono a tale gruppo i micropali da adottare per le barriere antirumore;
- micropali eseguiti con getto dell'intero palo in un'unica soluzione (IGU, injection globale inique).

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

$$Q_{lim} = (Q_{ll} + Q_{pl}) \cdot \eta$$

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 =  $\alpha D_s$ ;

$D_s$  = 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);

$q_s$  = portata laterale unitaria stabilita in funzione del valore  $N_{SPT}$  o  $p_L$ . 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**.

$\eta$ : fattore di efficienza in termini di resistenza (si assume 0.8).

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b>  <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b>  <b>TRATTA LERCARA DIR- CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b>  <b>BARRIERE ANTIRUMORE</b></p>					
<p>Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore</p>	<p>COMMESSA <b>RS3T</b></p>	<p>LOTTO <b>30</b></p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO IM 00 00 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 12 di 25</p>

Nell'applicazione di quanto prescritto dalle NTC 2018, ai fini della valutazione della resistenza di progetto  $R_d$ , da confrontarsi con il valore di progetto dell'azione  $E_d$ , si opera dividendo la resistenza caratteristica  $R_{c,k}$  per i coefficienti  $\gamma_R$  (che tengono conto della tipologia di palo) e per i coefficienti  $\xi$  (che tengono conto del numero di verticali indagate):

$$R_d = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R \cdot \xi}$$

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, si raccomanda che, **per i primi 5 metri**, esso venga considerato in ogni caso del tipo **IGU**.

La capacità portante verticale di progetto si calcolerà pertanto per integrazione dei valori di  $Q_D$  trovati per il tratto di tipo IGU e per quello di tipo IRS. La lunghezza del micropalo così calcolata dovrà essere **augmentata di 2 metri** in caso di realizzazione dell'opera su rilevato ferroviario per tener conto del ridotto stato di addensamento del terreno in prossimità della scarpata del rilevato stesso.

Verifica a compressione

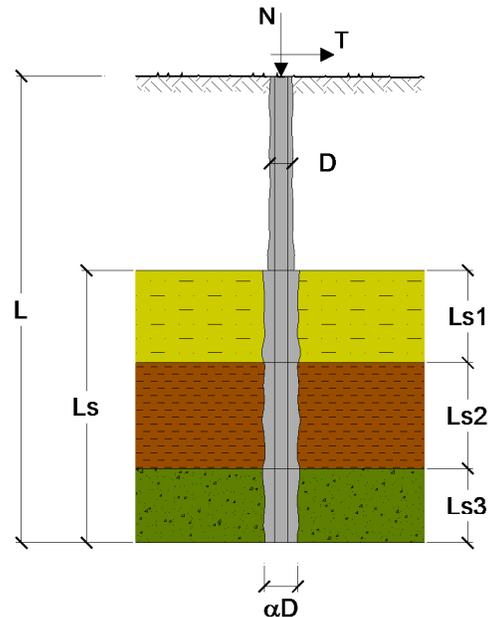
**CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO**

**OPERA:** BA - H0

**DATI DI INPUT:**

**Sollecitazioni Agenti:**

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
<b>N (kN)</b>	68.88	0.00	68.88
<b>T (kN)</b>	7.05	0.00	7.05



coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_s$	$\gamma_s$ traz
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.15	1.25
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.00	1.00	1.15	1.25

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	DM88	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

**Caratteristiche del micropalo:**

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

Lunghezza del micropalo (L): **6.00 (m)**

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	14 di 25

**Armatura:**

IPE     INP     HEA     HEB     HEM     Tubi     C

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> )	5000
Area a taglio (A <sub>taglio</sub> ):		(mm <sup>2</sup> )	4000
Momento di inerzia della sezione di armatura (I <sub>arm</sub> ):	1.297E+07	(mm <sup>4</sup> )	1.001E+07
Modulo di resistenza della sezione di armatura (W <sub>arm</sub> ):	154'162	(mm <sup>3</sup> )	2000000
Dimensione Armatura (D <sub>arm</sub> ):		(mm)	210

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): **6.0 (MN/m<sup>3</sup>)**

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

**Capacità portante di fusto**

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$$

Tipo di Terreno	Spessore Is <sub>i</sub> (m)	α (-)	Ds <sub>i</sub> = α*D (m)	S <sub>i</sub> media (MPa)	S <sub>i</sub> minima (MPa)	S <sub>i</sub> calcolo (MPa)	Qs <sub>i</sub> (kN)
AV	6.00	1.20	0.30	0.150	0.150	0.077	433.88
			0.00			0.000	0.00
			0.00			0.000	0.00

Ls = 6.00 (m)      Ql = 433.88 (kN)

**Capacità portante di punta**

Qp = %Punta\*Ql (consigliato 10-15%)

% Punta **15%**      Qp = 65.08 (kN)

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

Q<sub>lim</sub> = Q<sub>b</sub> + Q<sub>l</sub>

F<sub>s</sub> = Q<sub>lim</sub> / N (F<sub>s</sub> > 1)

Q<sub>lim</sub> = 498.96 (kN)

F<sub>s</sub> = 7.24

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	15 di 25

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

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam.( $\beta$ ) ( $\beta = k \cdot D_{arm}$ ): 1.01 (N/mm<sup>2</sup>)

$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$   $\eta = Pk / N$  (consigliato  $\eta > 10$ )

$Pk = 3317.21$  (MN)  $\eta = 48.16$

### VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

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

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

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

$b = 0.609$  (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 5.79$  (kN m)

### VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 275 (Fe 430)

*Tensioni nel singolo micropalo*

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

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

$\sigma_{max} = 54.64$  (N/mm<sup>2</sup>)  $\sigma_{min} = -20.44$  (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau = 3.50$  (N/mm<sup>2</sup>)

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

$\sigma_{id} = 54.97$  (N/mm<sup>2</sup>) verifica soddisfatta

Verifica a trazione

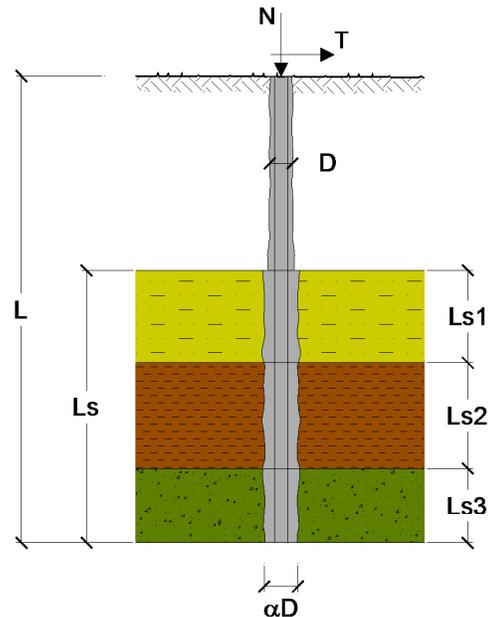
**CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO**

OPERA: BA - H0

**DATI DI INPUT:**

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
<b>N (kN)</b>	-29.93	0.00	-29.93
<b>T (kN)</b>	7.05	0.00	7.05



coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo		permanenti $\gamma_G$	variabili $\gamma_Q$	$\gamma_s$	$\gamma_{s \text{ traz}}$
SLU	A1+M1+R1	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	1.00	1.30	1.45	1.60
	A1+M1+R3	1.30	1.50	1.15	1.25
	SISMA	1.00	1.00	1.15	1.25
DM88		1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		1.00	1.00	1.15	1.25

n	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$	DM88	prog.
$\xi_3$	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
$\xi_4$	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

**Caratteristiche del micropalo:**

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

Lunghezza del micropalo (L): 6.00 (m)

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	17 di 25

**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 ( $A_{arm}$ ):	4029	( $mm^2$ )	5000
Area a taglio ( $A_{taglio}$ ):		( $mm^2$ )	4000
Momento di inerzia della sezione di armatura ( $J_{arm}$ ):	1.297E+07	( $mm^4$ )	1.00E+07
Modulo di resistenza della sezione di armatura ( $W_{arm}$ ):	154'162	( $mm^3$ )	2000000
Dimensione Armatura ( $D_{arm}$ ):		( $mm$ )	210

Tipo di acciaio

Tensione di snervamento dell'acciaio ( $f_y$ ):	275	( $N/mm^2$ )
Coefficiente Parziale Acciaio $\gamma_M$	1.05	
Tensione ammissibile dell'acciaio ( $\sigma_{lim}$ ):	262	( $N/mm^2$ )
Modulo di elasticità dell'acciaio ( $E_{arm}$ ):	210'000	( $N/mm^2$ )

**Coefficiente di Reazione Laterale:**

Coeff. di Winkler (k):	6.0	( $MN/m^3$ )
------------------------	-----	--------------

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RS3T 30 D 78 CL IM 00 00 001 A 18 di 25

**CAPACITA' PORTANTE ESTERNA**

Capacità portante di fusto

$$Ql = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot Is_i$$

Tipo di Terreno	Spessore $Is_i$ (m)	$\alpha$ (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	$S_i$ media (MPa)	$S_i$ minima (MPa)	$S_i$ calcolo (MPa)	$Qs_i$ (kN)
AV	6.00	1.20	0.30	0.150	0.150	0.071	399.17
			0.00			0.000	0.00
			0.00			0.000	0.00

$$Ls = 6.00 \text{ (m)} \quad Ql = 399.17 \text{ (kN)}$$

Capacità portante di punta

$$Qp = \%Punta \cdot Ql \quad (\text{consigliato } 10-15\%)$$

$$\% \text{ Punta } 15\% \quad Qp = 0.00 \text{ (kN)}$$

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$Qlim = Qb + Ql$$

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

$$Qlim = 399.17 \text{ (kN)}$$

$$Fs = 13.34$$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. ( $\beta$ ) ( $\beta = k \cdot D_{arm}$ ): 1.01 (N/mm<sup>2</sup>)

$$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$$

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

$$Pk = 3317.21 \text{ (MN)}$$

$$\eta = --$$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

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

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

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

$$b = 0.609 \text{ (1/m)}$$

Momento Massimo (M):

$$M = 5.79 \text{ (kNm)}$$

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 275 (Fe 430)

Tensioni nel singolo micropalo

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

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

$$\sigma_{max} = 30.11 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{min} = -44.97 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\tau = 3.50 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

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

$$\sigma_{td} = 45.38 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{verifica soddisfatta}$$



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
TRATTA LERCARA DIR- CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)  
BARRIERE ANTIRUMORE

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	19 di 25

## 6.4 Trave di fondazione

La sezione della trave di fondazione ha dimensioni 105x45 cm. Per la verifica delle armature si considera uno schema semplificato a vantaggio di sicurezza, costituito da una trave di n campate appoggiata sui micropali e caricata dalle forze concentrate in corrispondenza dei tirafondi tesi; Come sezione resistente si considera, solo una fascia 50x65 cm armata con 3+3 phi18; si trascura, inoltre, il contributo benefico del tiro del tirafondo del modulo tappo BT, poiché il momento massimo si ha in campata.



Figura 2-18 Trave di Fondazione: schema di calcolo

La trazione massima nei tirafondi è:

**Sollecitazione massima sui tirafondi**

$$\sigma_{sd} = 111.6 \text{ N/mm}^2$$

$$T_{sd} = \sigma_{sd} \cdot A = 37865 \text{ N}$$

**tensione massima tirafondo**

**38 kN**

**ok**

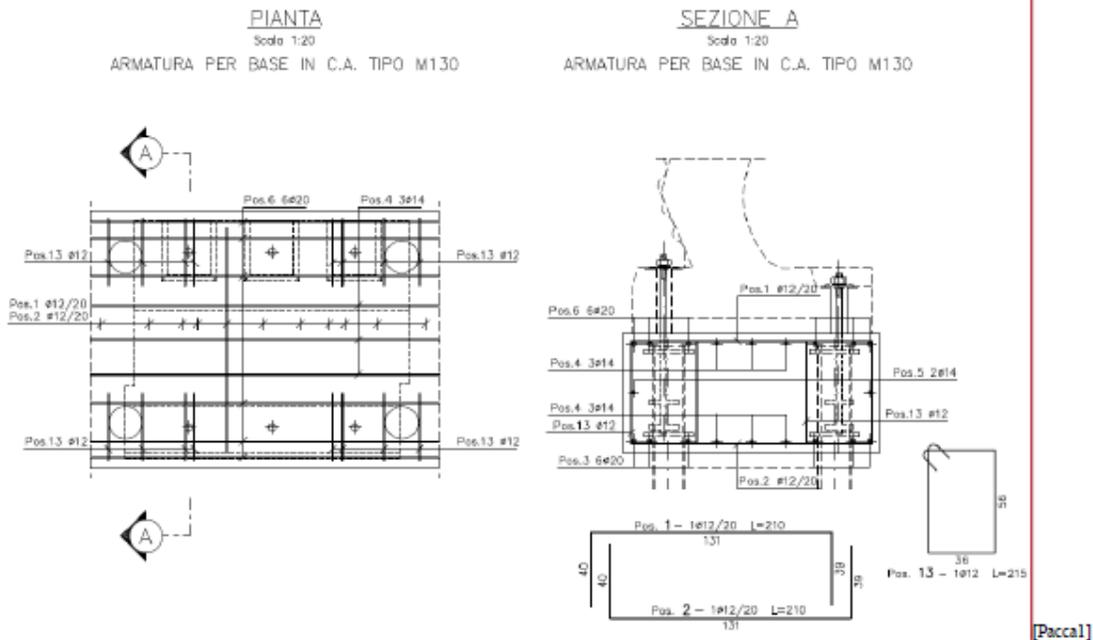


Figura 2-29 – Pianta e sezione del cordolo

Per quanto riguarda la verifica delle armature longitudinali, si riporta l'andamento dei momenti flettenti: il valore massimo si registra in prossimità dei bordi e vale  $M = -14.3 \text{ kNm}$ .

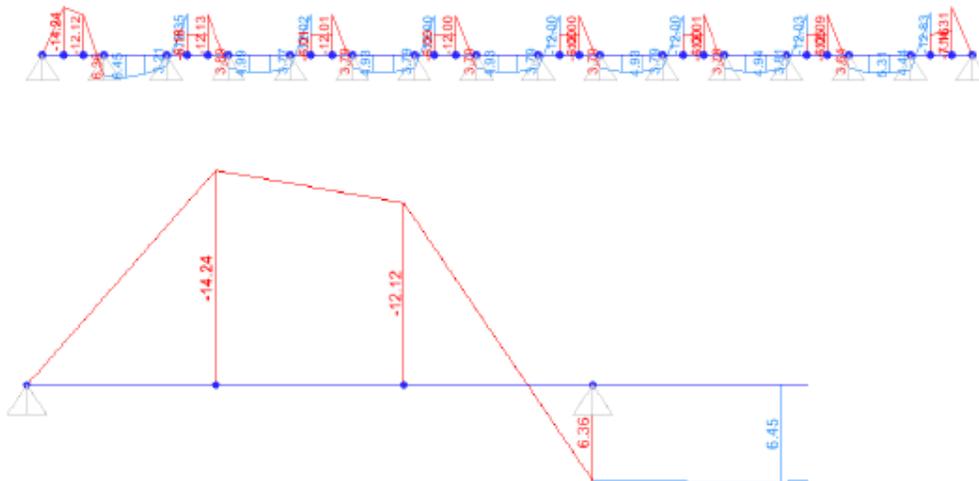


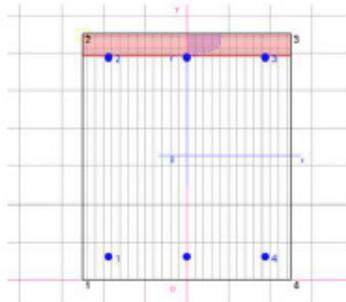
Figura 2-30 - Trave di fondazione : momenti flettenti

Di seguito si riporta la verifica della sezione:

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: Cordolo

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita
Forma della sezione:	Rettangolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C28/35
	Resistenza compress. di calcolo fod:	15.87 MPa
	Resistenza compress. ridotta fod:	7.933 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	323082.5 MPa
Resis. media a trazione fotm:	2.766 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	22 di 25

Resist. a snerv. di calcolo $f_{yd}$ :	391.30	MPa
Resist. ultima di calcolo $f_{td}$ :	391.30	MPa
Deform. ultima di calcolo $E_{pu}$ :	0.068	
Modulo Elastico $E_f$ :	200000.0	MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Base:	35.0	cm
Altezza:	45.0	cm
Barre inferiori:	3Ø18	(7.6 cm <sup>2</sup> )
Barre superiori:	3Ø18	(7.6 cm <sup>2</sup> )
Coprif.Inf.(dal baric. barre):	5.6	cm
Coprif.Sup.(dal baric. barre):	5.6	cm

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	14.30	38.10	0.00

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.7	cm
Interfero netto minimo barre longitudinali:	10.1	cm
Copriferro netto minimo staffe:	3.5	cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)										
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
N ult	Sforzo normale ultimo [kN] nella sezione (positivo se di compress.)										
Mx ult	Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico										
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$										
Yneuro	Ordinata [cm] dell'asse neutro a rottura nel sistema di rif. X,Y,O sez.										
Mx sn.	Momento flettente allo snervamento [kNm]										
x/d	Rapp. di duttilità a rottura solo se N = 0 (travi)										
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC]										
N°Comb	Ver	N	Mx	N ult	Mx ult	Mis.Sic.	Yn	M sn	x/d	C.Rid.	As Tesa
1	S	0.00	14.30	-0.27	109.27	7.641	39.1	104.50	0.15	0.70	7.6 (2.2)

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Yo max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSST	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	23 di 25

es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	-0.00786	45.0	0.00020	39.4	-0.01970	5.6

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe:	12	mm	
Passo staffe:	20.0	cm	[Passo massimo di normativa = 31.5 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	11.3	cm <sup>2</sup> /m	[Area Staffe Minima NTC = 5.3 cm <sup>2</sup> /m]

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.19)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.18)NTC]
bw	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm <sup>2</sup> /m]

N°Comb	Ver	Vsdu	Vrd	Vcd	Vwd	bw	Teta	Acw	AST
1	S	38.10	70.66	339.53	392.32	35.0	21.80	1.000	1.1

La verifica a punzonamento fa riferimento all'Eurocodice 2, sezione 6.4.

La sezione di base per la verifica è costituita dalla superficie laterale del cilindro di altezza pari all'altezza utile d del cordolo e il raggio uguale a quello del palo aumentato di 2d.

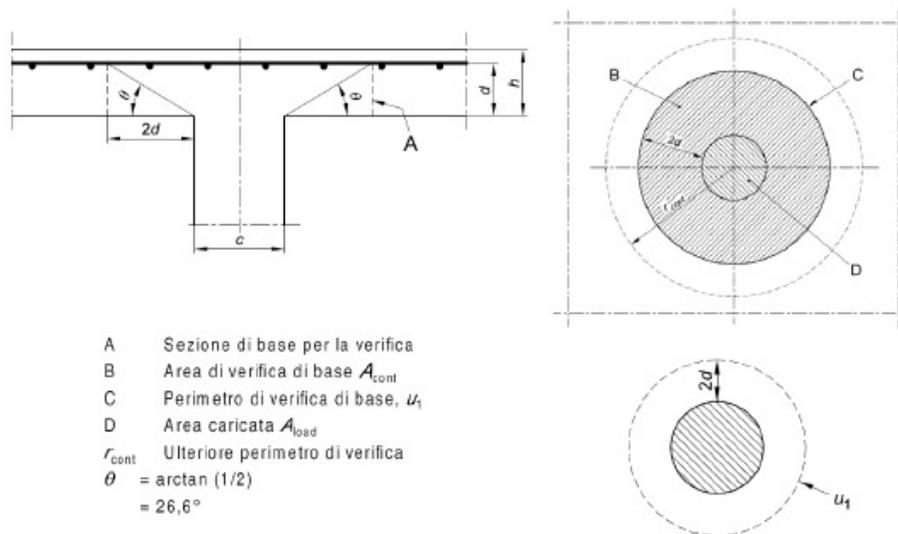


Figura 2-31 – Modello di verifica a punzonamento allo stato limite ultimo

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	24 di 25

Il procedimento di calcolo per taglio-punzonamento si fonda sulle verifiche alla faccia del pilastro e al perimetro di verifica di base  $u_1$ .

Lungo le sezioni di verifica si definiscono le seguenti tensioni di taglio di progetto:

$nR_{d,c}$  è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra, prive di armatura per il tagliopunzonamento, lungo la sezione di verifica considerata.

$nR_{d,cs}$  è il valore di progetto del taglio-punzonamento resistente di una piastra dotata di armature per il tagliopunzonamento, lungo la sezione di verifica considerata.

$nR_{d,max}$  è il valore di progetto del massimo taglio-punzonamento resistente lungo la sezione di verifica considerata, rappresenta il massimo valore della resistenza a taglio-punzonamento in adiacenza alla zona caricata.

Occorre eseguire le seguenti verifiche:

a) Lungo il perimetro dell'area caricata non deve essere superata la massima tensione di taglio punzonamento:  $vEd \leq vR_{d, max}$

b) Lungo il perimetro di verifica posto a distanza  $2d$  dall'area caricata deve essere  $vEd \leq vR_{d,c}$

Se la condizione a) non è soddisfatta, occorre aumentare lo spessore del plinto o le dimensioni del palo, se la condizione b) non è soddisfatta occorre inserire armatura a taglio o aumentare le dimensioni del plinto e/o palo.

**Materiali**

Cls C28/35  
 $f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$   
Acciaio B450C  
 $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$

**GEOMETRIA**

$h = 450 \text{ mm}$   
 $D = 250 \text{ mm}$  spessore cordolo  
diametro del palo  
Armatura del cordolo  
 $\Phi 18$  /  $\Phi 150$  mm in direzione x  
 $\Phi 18$  /  $\Phi 150$  mm in direzione y  
 $c = 40.00 \text{ mm}$  copriferro

**SOLLECITAZIONI**

$N_{sd} = 68.88 \text{ kN}$   $6.89E+04 \text{ N}$   
 $M_{sd} = 0 \text{ kNm}$   $0.00E+00 \text{ Nmm}$

**Altezza utile**

$d_x = s - c - \Phi / 2 = 401 \text{ mm}$  altezza utile in direzione x  
 $d_y = s - c - \Phi - \Phi / 2 = 383 \text{ mm}$  altezza utile in direzione y  
 $d = (d_x + d_y) / 2 = 392 \text{ mm}$  altezza utile della piastra

**Rapporto geometrico di armatura**

$A_{s,x} = A_{s,y} = 254 \text{ mm}^2$   
 $i_x = i_y = 150 \text{ mm}$   
 $\rho_y = \rho_{lx} = A_{s,y} / (i_y \cdot d) = 0.0043 \leq 0.02$

**Perimetro del palo**

$u_0 = \pi D = 785 \text{ mm}$

**Perimetro di verifica  $u_1$  posto a distanza  $2d$  dal pilastro**

$u_1 = \pi(D + 4d) / 2 = 2856 \text{ mm}$

Relazione di calcolo fondazioni Barriere antirumore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSST	30	D 78 CL	IM 00 00 001	A	25 di 25

Tensione di punzonamento di progetto lungo il contorno del pilastro

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_0 d} \quad \text{dove} \quad \beta = 1 + k \pi \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{1}{D + 4d}$$

$k = 0.60$  coeff. riduttivo  
 $\beta = 1.00$   
 $v_{Ed} = 0.22 \text{ N/mm}^2$

Massimo valore della resistenza a taglio-punzonamento

$v = 0.5$   
 $v_{rd,max} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} = 3.967 \text{ N/mm}^2$   
 $v_{Ed} \leq v_{rd,max}$

la verifica lungo il contorno dell'area caricata è soddisfatta

Tensione di punzonamento di progetto lungo il perimetro di verifica a distanza 2d

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_1 d} = 0.06 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza a punzonamento senza armatura a taglio-punzonamento

$$v_{rd,c} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}$$

$C_{rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.12$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.714$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}} = 0.0043 \leq 0.02$$

$v_{rd,c} = 0.47 \text{ N/mm}^2 \geq v_{min}$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.416 \text{ N/mm}^2$$

Verifica a punzonamento

$v_{Ed} = 0.06 \text{ N/mm}^2 \leq v_{rd,c} = 0.47 \text{ N/mm}^2$

Non è necessaria armatura a punzonamento