

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J81H02000000001

## S.O. ENERGIA E TRAZIONE ELETTRICA

### PROGETTO DEFINITIVO

## COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE)

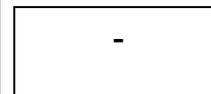
### TRATTA PARMA - VICOFERTILE

#### ELABORATI A CARATTERE GENERALE

#### LINEA DI CONTATTO

#### PALO 2XLSU22 PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO - RELAZIONE DI CALCOLO

SCALA:



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

IP00 00 D 18 CL LC0000 006 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	M.Lorusso	Mar 2022	G.Sottile	Mar 2022	G.Fadda	Mar 2022	G.Guidi Bufferarini dic 2022
B	Aggiornamento post verifica tecnica RFI	M.Lorusso	dic 2022	G.Sottile	dic 2022	G.Fadda	dic 2022	Ing. Guido Bufferarini Ordine Ingegneri Provincia di Roma n° 17812

File: IP0000D18CLLC0000006B

n. Elab.: X



**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	2 di 95

## SOMMARIO

<b>1.-. PREMESA E SCOPO DEL DOCUMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.-. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>3.-. DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE.....</b>	<b>6</b>
<b>4.-. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1.-. STRUTTURE METALLICHE.....</b>	<b>13</b>
4.1.1.-. Profili e piastre .....	13
4.1.2.-. Tirafondi .....	13
4.1.3.-. Saldature.....	14
<b>4.2.-. OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO .....</b>	<b>16</b>
4.2.1.-. Strutture in fondazione .....	16
4.2.2.-. Acciaio per calcestruzzo armato.....	17
<b>5.-. CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE.....</b>	<b>18</b>
<b>6.-. MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>19</b>
6.1.-. CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI .....	19
6.2.-. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA .....	19
<b>7.-. ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>21</b>
<b>7.1.-. PESO PROPRIO ELEMENTI STRUTTURALI .....</b>	<b>21</b>
<b>7.2.-. SOVRACCARICHI PERMANENTI VERTICALI .....</b>	<b>22</b>
7.2.1.-. Peso dei conduttori e della relativa pendinatura .....	22
7.2.2.-. Azione delle apparecchiature di sospensione .....	22
7.2.3.-. Azione del tirante a terra .....	23
<b>7.3.-. SOVRACCARICHI PERMANENTI ORIZZONTALI .....</b>	<b>23</b>
7.3.1.-. Azioni trasversali dovute ai tiri .....	23
7.3.2.-. Azioni parallele dovute ai tiri .....	24
<b>7.4.-. SOVRACCARICHI VARIABILI .....</b>	<b>25</b>
7.4.1.-. Variazione termica.....	25
7.4.2.-. Azione del ghiaccio .....	25
7.4.3.-. Azione del vento.....	26
<b>7.5.-. PRESSIONE AERODINAMICA .....</b>	<b>32</b>
<b>7.6.-. AZIONI ECCEZIONALI .....</b>	<b>32</b>
<b>7.7.-. AZIONE SISMICA.....</b>	<b>34</b>
7.7.1.-. Zonazione sismica.....	34
7.7.2.-. Vita Nominale .....	35
7.7.3.-. Classe d'uso.....	35
7.7.4.-. Periodo di riferimento per l'azione sismica.....	35

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	3 di 95

7.7.5.-.. Azioni di progetto .....	35
7.7.6.-.. Spettro di progetto SLV .....	37
<b>7.8.-.. COMBINAZIONI DEI CARICHI.....</b>	<b>38</b>
7.8.1.-.. Approccio agli Stati Limite .....	40
7.8.2.-.. Condizioni di carico .....	41
7.8.3.-.. Combinazioni di carico di progetto.....	41
<b>8.-.. RISULTATI DEL CALCOLO .....</b>	<b>44</b>
8.1.-.. STRUTTURA IN ELEVAZIONE .....	44
8.2.-.. STRUTTURA FONDALE .....	46
<b>9.-.. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE .....</b>	<b>50</b>
9.1.-.. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO .....	50
9.1.1.-.. Strutture in elevazione in acciaio .....	50
9.2.-.. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO .....	70
<b>10.-.. CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA GEOTECNICA .....</b>	<b>71</b>
10.1.-.. VERIFICA A SCORRIMENTO.....	71
10.2.-.. VERIFICA A CARICO LIMITE.....	72
<b>11.-.. VERIFICA STRUTTURA METALLICA .....</b>	<b>74</b>
11.1.-.. UPN220.....	75
11.2.-.. TRALICCIO Ø24 .....	77
11.3.-.. L60X60X6 .....	79
11.4.-.. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ DEGLI SPOSTAMENTI.....	80
11.5.-.. VERIFICA TIRAFONDI.....	81
11.5.1.-.. Verifica all'estrazione .....	82
11.5.2.-.. Verifiche strutturali.....	86
<b>12.-.. VERIFICA FONDAZIONE .....</b>	<b>89</b>
12.1.-.. AZIONI IN TESTA AL PLINTO.....	89
12.2.-.. VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE.....	89
12.2.1.-.. Plinto .....	89
12.2.1.-.. Pali .....	91
12.3.-.. VERIFICA A SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA.....	92
<b>13.-.. VERIFICA DI COMPATIBILITÀ DEI CEDIMENTI .....</b>	<b>93</b>
<b>14.-.. CONCLUSIONI .....</b>	<b>94</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	4 di 95

## **1.-..PREMESSA E SCOPO DEL DOCUMENTO**

Scopo della presente monografia è il dimensionamento, il calcolo e la verifica dei sostegni TE nell'ambito della Progettazione Definitiva del completamento del Raddoppio della Linea Ferroviaria Parma – La Spezia (Pontremolese), nel tratto Parma – Vicofertile.

Nello specifico, lungo la tratta d'interesse, in prossimità della Stazione di Vicofertile alla pk 7+460 della linea oggetto di raddoppio, è stato analizzato il sostegno n° 19 costituito da doppio palo LSU22-TN e relativa fondazione profonda tipo MTN2.

Il calcolo del sostegno è stato eseguito mediante l'utilizzo del programma di calcolo SAP2000.

Il calcolo della fondazione è stato eseguito tramite l'impiego del programma di calcolo API Plinti 14.

Effettuato il calcolo, sono state riportate nella presente relazione le verifiche allo stato limite ultimo e allo stato limite d'esercizio, con i criteri di verifica dettagliati nei paragrafi relativi.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	5 di 95

## 2.-..NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La determinazione dei carichi, il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche di resistenza vengono effettuati con i criteri della Scienza delle Costruzioni e con riferimento alle seguenti prescrizioni e norme:

- **Norma CEI - EN50119 Ed. 05/2010:** “Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane. Impianti fissi – Linee aeree di contatto per la trazione elettrica”;
- **D.M. del 17.01.2018:** “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”;
- **C.M. del 21.01.2019, n.7:** “Istruzioni per l’esecuzione dell’«Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2018»”;
- **UNI EN 1993-1-8:2005 [4] – Eurocodice 3 –** Progettazione delle strutture in acciaio– Parte1-8: Progettazione dei collegamenti;
- **ETAG No. 001 - Allegato C [Agosto 2010]:** “Linea guida per il benessere tecnico europeo di ancoranti metallici da utilizzare nel calcestruzzo - Progettazione di ancoranti”;
- **Norma UNI ENV 1993-1-1 (Eurocodice 3):** “Progettazione delle strutture di acciaio”;
- **Nuovo Capitolato Tecnico RFI ed. 2014** per l’esecuzione di lavori di rinnovo e adeguamento TE;
- **Istruzione Tecnica RFI DMAIMTE SP-IFS-006 A:** “Procedimento di calcolo di verifica dei pali della linea di contatto in stazione e di piena linea”;
- **Norma Tecnica RFI DTCSTS ENE SP-IFS-040 A:** “Fornitura di filo tondo e sagomato per le linee aeree di contatto”;
- **Norma Tecnica RFI TE 025:** “Fornitura di corde di rame e lega di rame per le linee aeree di contatto”;
- **Norma Tecnica RFI TE 118:** “Costruzione delle condutture di contatto e di alimentazione a corrente continua a 3 Kv”;
- **Dis. RFI E64923d:** “Travi di sospensione”;
- **Standard costruttivi RFI** per le linee di trazione elettrica;
- **Dis. RFI E64865f:** “Fondazioni superficiali e profonde per sostegni tipo LSU”;
- **Dis. RFI E65022b:** “Tirafondi per portali di ormeggio ad 1 e 2 binari e travi di sospensione”;
- **RFI DTC SI MA-IFS-001 A:** “Manuale di Progettazione delle Opere Civili”;
- **RFI DTC SI SP-IFS-001 B:** “Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili”.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	6 di 95

### 3.-..DESCRIZIONE DELLE STRUTTURE

Come descritto in premessa, l'opera è costituita da un doppio palo LSU22-TN (disegni in Figura 1, Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7), fondato su una fondazione profonda tipo MTN2 di dimensioni in pianta di 2,95 x 1,50 m e per un'altezza di 9,00 m (RFI E64865f).

Nello specifico, tale sostegno è formato da 2 pali di altezza pari a 9,60 m, ognuno dei quali risulta formato da 2 UPN 220 collegati tra loro da tondi di tralicciatura. I pali sono uniti da una struttura reticolare di profilati a L60x60x6 (RFI E64923d).

Di seguito si riportano le viste tipologiche rappresentative del palo.

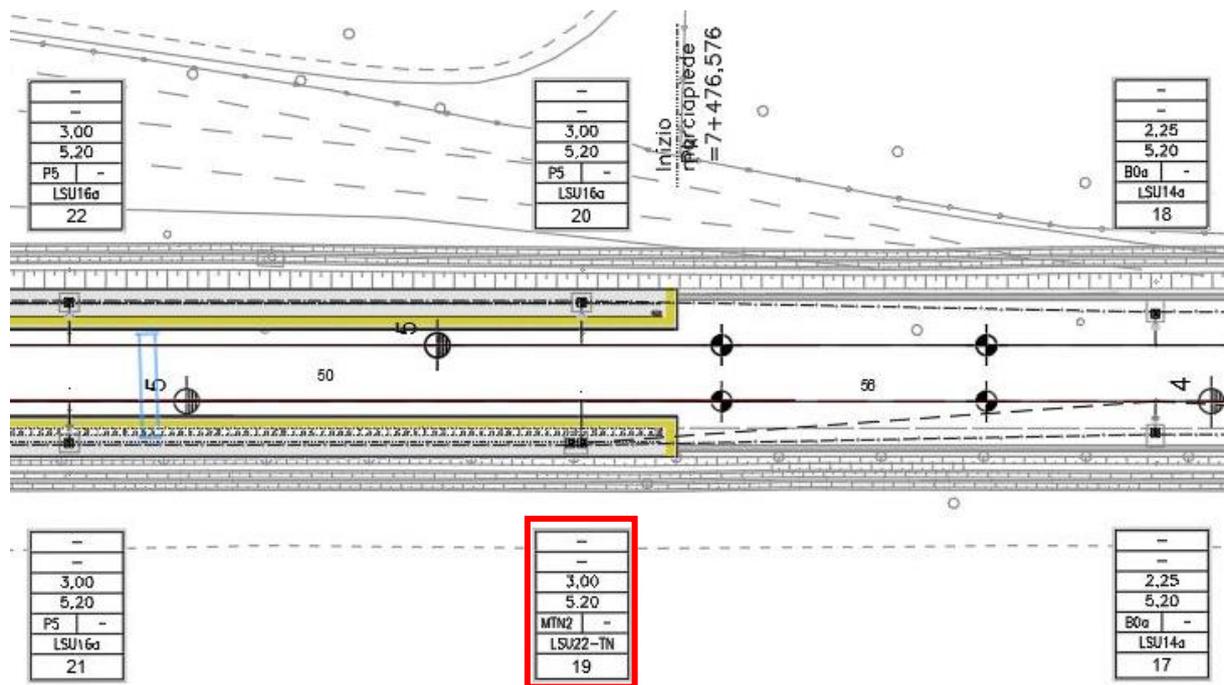
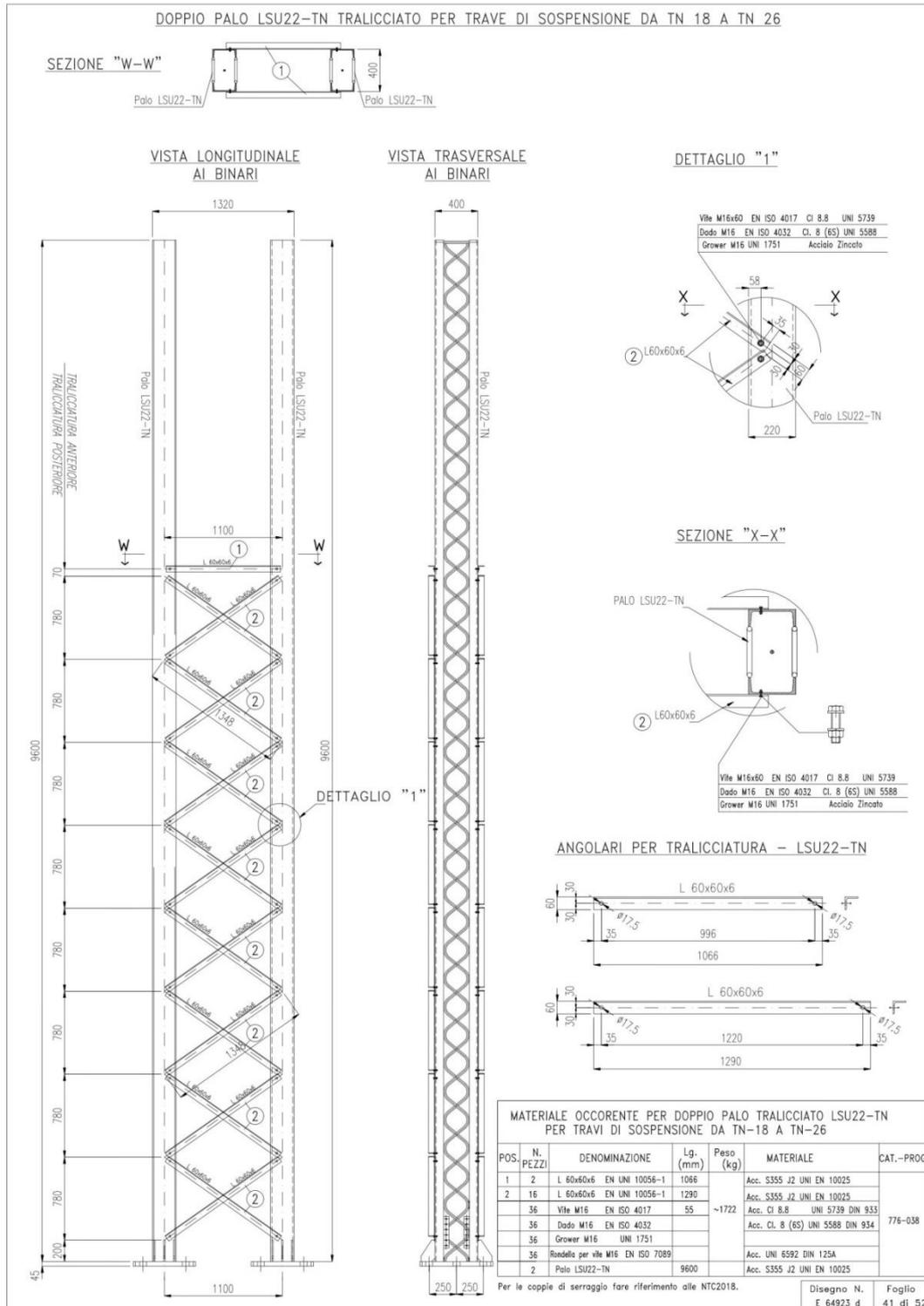


Figura 1 - Rappresentazione del palo in questione

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO - PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
- RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC000006	B	7 di 95

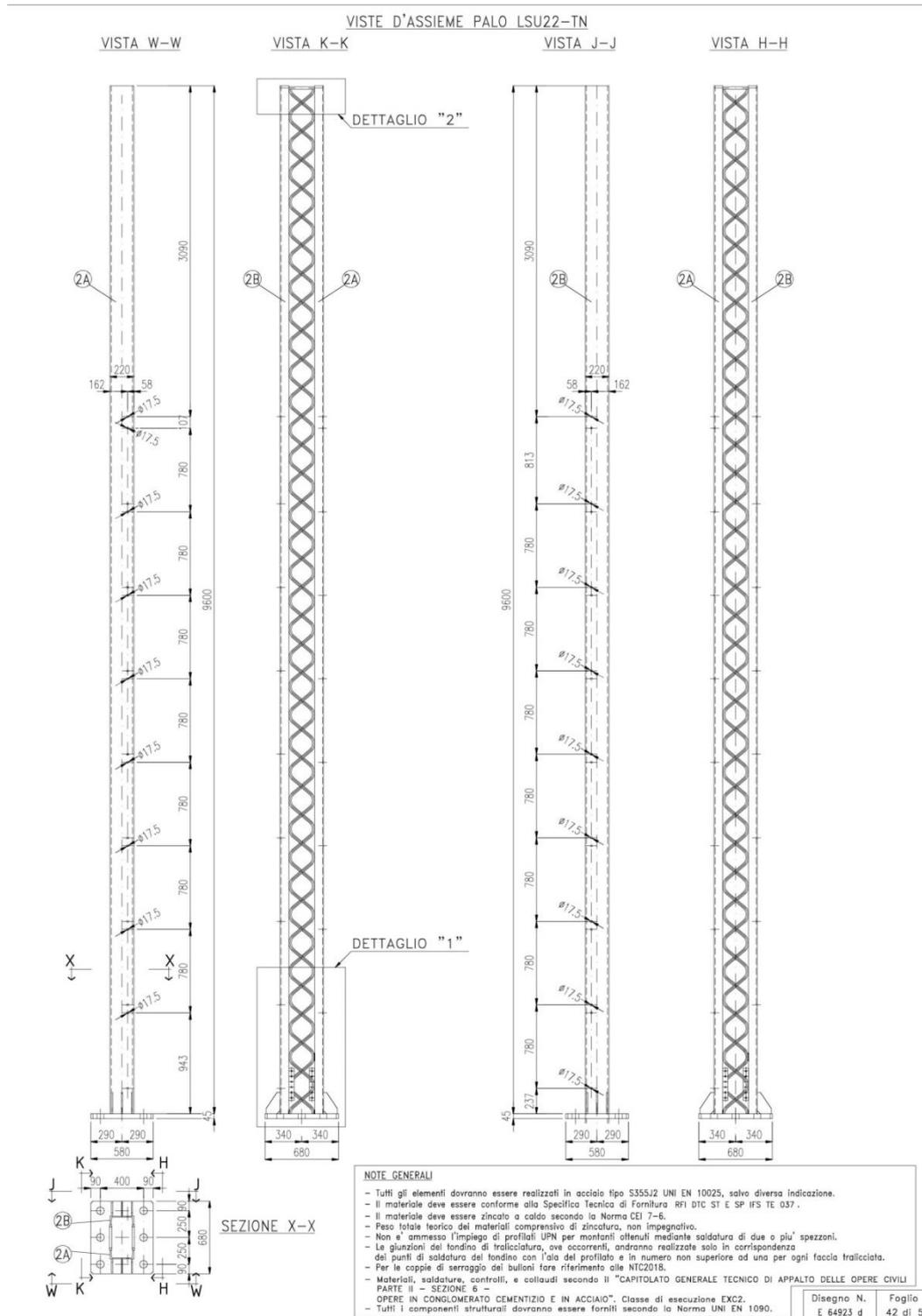


**Figura 2 - Viste prospettive palo tipo LSU22-TN**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO - PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
- RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	8 di 95



**Figura 3 - Viste prospettive palo tipo LSU22-TN**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO**

COMME  
SSA

LOTTO

CODIFIC  
A

DOCUM  
ENTO

REV

FOGLIO

IP00

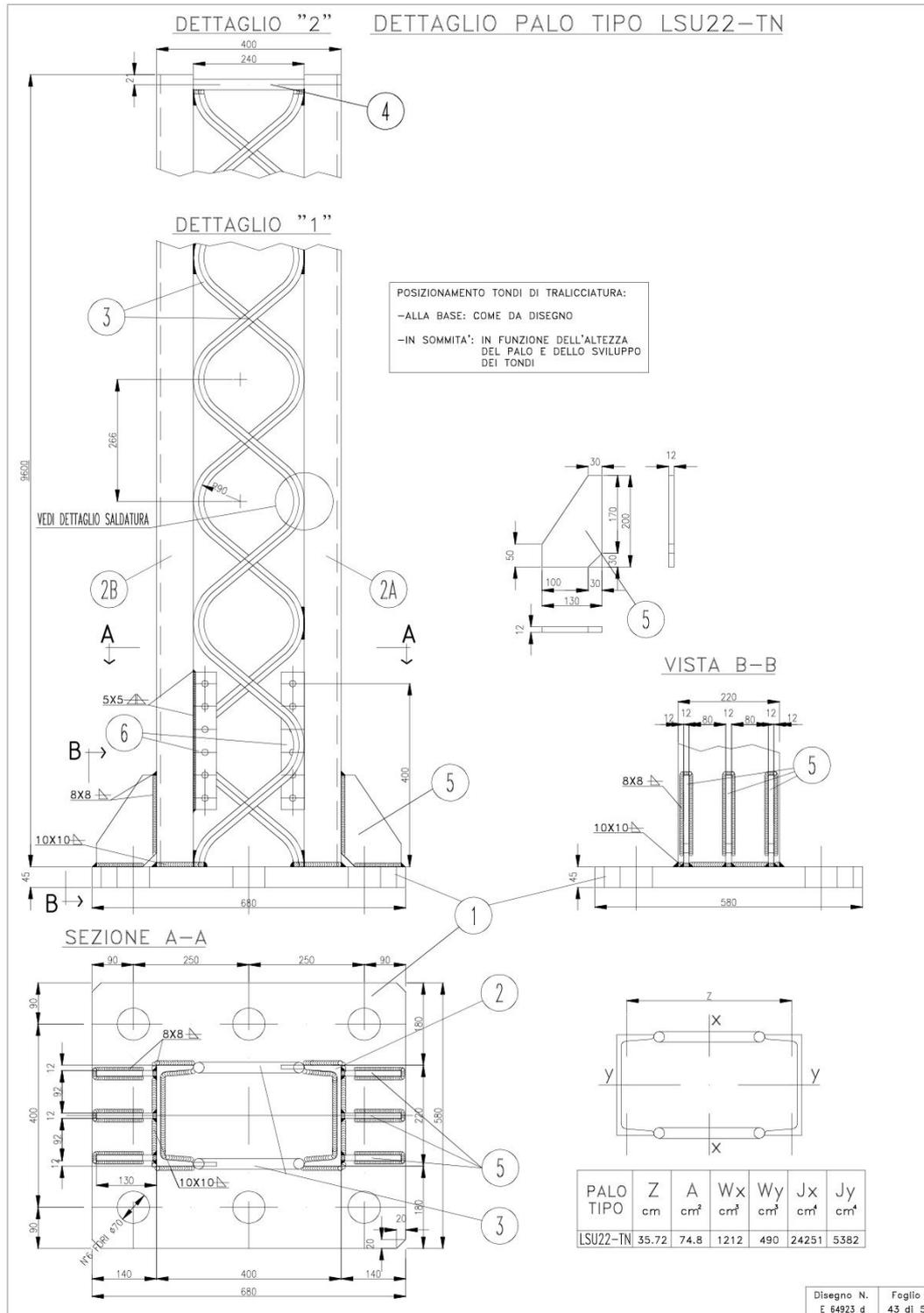
00

D18CL

LC00000  
06

B

9 di 95

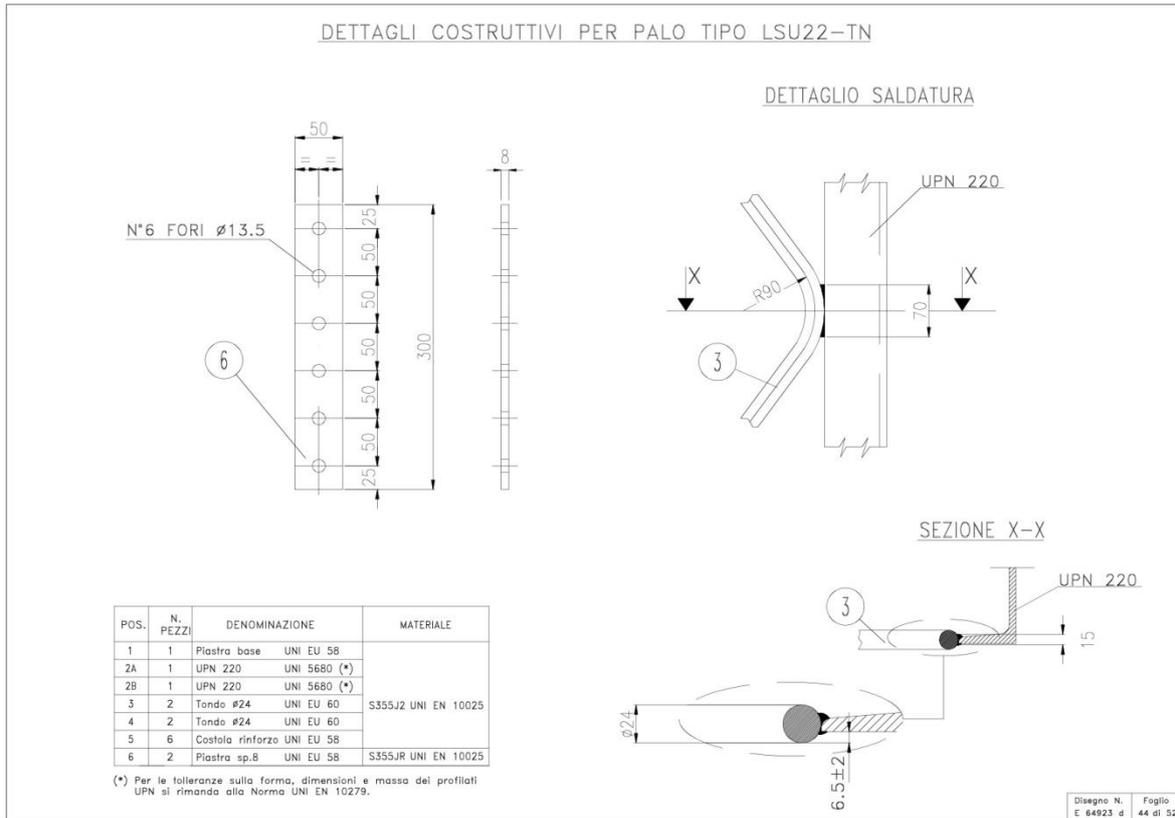


**Figura 4 – Particolari costruttivi palo tipo LSU22-TN**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	10 di 95

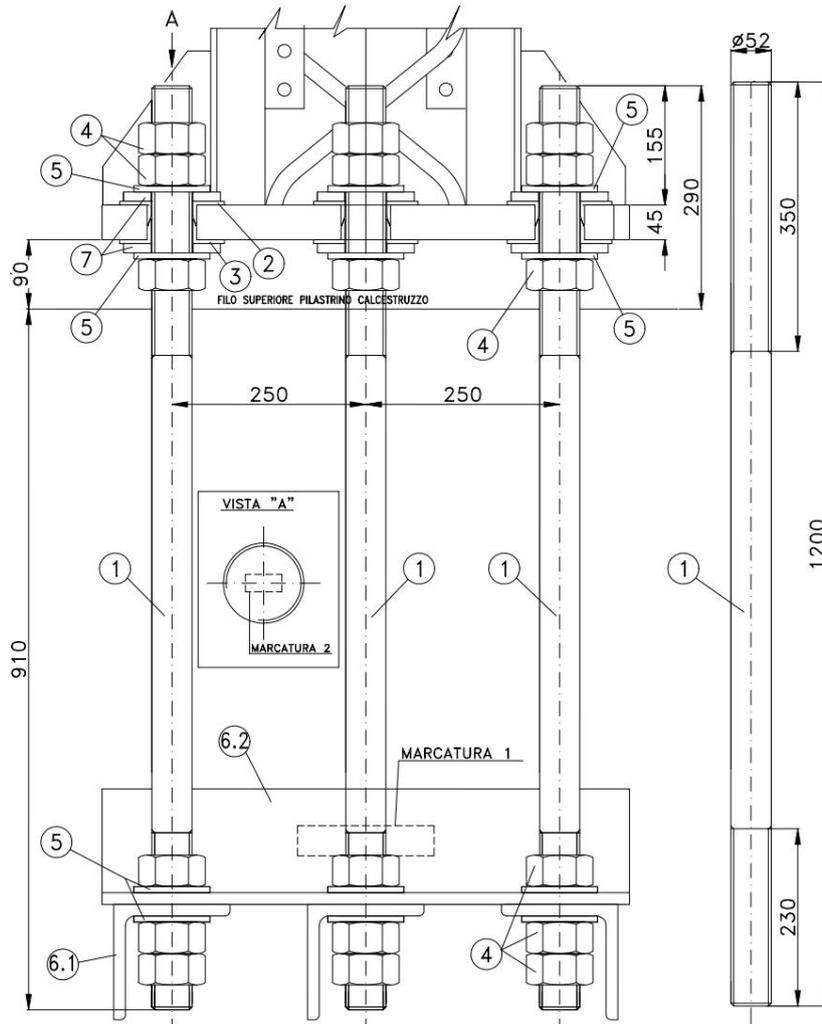


**Figura 5 – Particolari costruttivi palo tipo LSU22-TN**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO - PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
- RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	11 di 95

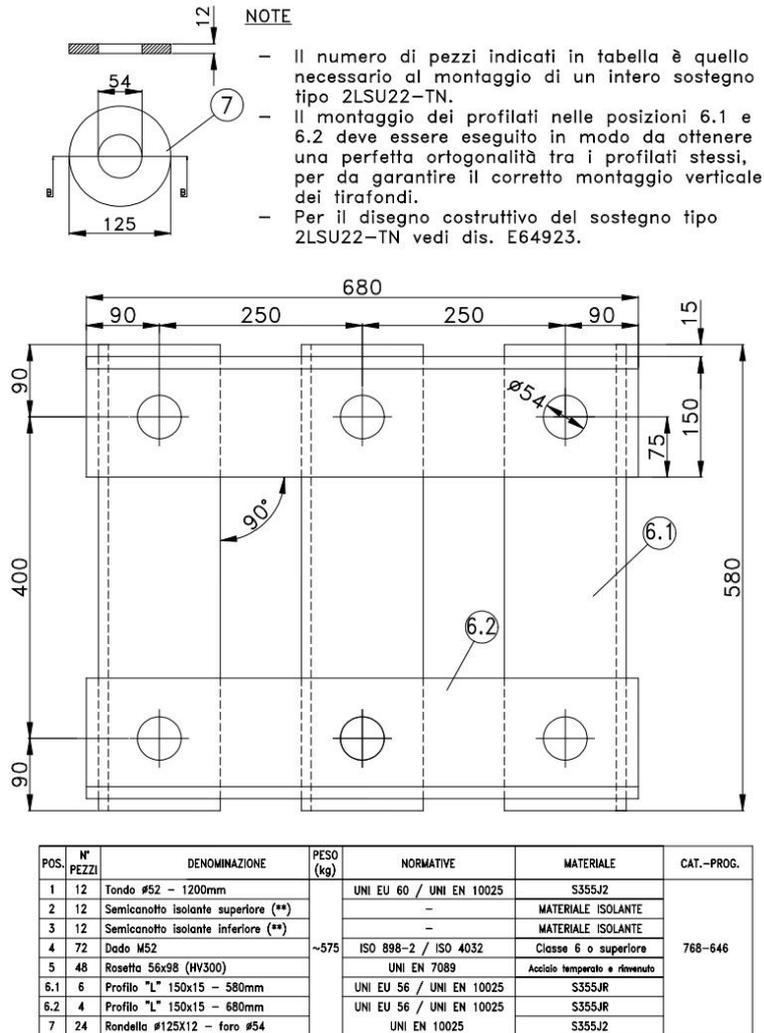


**Figura 6 - Ancoraggio per sostegno tipo LSU22-TN - Vista 1**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	12 di 95



**Figura 7 – Ancoraggio per sostegno tipo LSU22-TN – Vista 2 e tabelle materiali**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	13 di 95

## 4.-..CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione delle opere in progetto è previsto l'utilizzo dei seguenti materiali strutturali per i quali, di seguito, si riportano le caratteristiche meccaniche:

### 4.1.-..STRUTTURE METALLICHE

#### 4.1.1.-..Profili e piastre

Si fa riferimento alle normative UNI EN 10025-2.

Profilati laminati a caldo	UNI EN 10025 S 355 J2:
Modulo Elastico	E= 210000 MPa
Tensione di snervamento	$f_{yk}$ = 355 MPa
Tensione di rottura	$f_{tk}$ = 510 MPa
Peso Specifico	$\gamma$ = 78,5 kN/m <sup>3</sup>
Piastrame	UNI EN 10025 S 355 J2:
Modulo Elastico	E= 210000 MPa
Tensione di snervamento	$f_{yk}$ = 355 MPa
Tensione di rottura	$f_{tk}$ = 510 MPa
Peso Specifico	$\gamma$ = 78,5 kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{M0}$ = 1,05 (Res. Sezione)
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{M0}$ = 1,05 (Instabilità)
Coefficiente di sicurezza	$\gamma_{M2}$ = 1,25 (Res. Sezione Forata)

#### 4.1.2.-..Tirafondi

Tondi in acciaio	UNI EN 10025 S 355 J2:
Modulo Elastico	E= 210000 MPa
Tensione di snervamento	$f_{yk}$ = 355 MPa
Tensione di rottura	$f_{tk}$ = 510 MPa
Peso Specifico	$\gamma$ = 78,5 kN/m <sup>3</sup>

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	14 di 95

#### **4.1.3.-.Saldature**

La saldatura è un procedimento che permette il collegamento di parti solide tra loro e che realizza la continuità del materiale ove essa venga applicata. La caratteristica principale è quella di creare strutture monolitiche cioè strutture che non presentano discontinuità.

I procedimenti di saldatura e i materiali di apporto devono essere conformi ai requisiti stabiliti dalla normativa vigente. La saldatura degli acciai dovrà avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificati secondo la norma UNI EN ISO 4063:2001. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale. Tutti i procedimenti di saldatura dovranno essere qualificati secondo la norma UNI EN ISO 15614-1:2005. Le saldature saranno sottoposte a controlli non distruttivi finali per accertare la corrispondenza ai livelli di qualità stabiliti dal progettista sulla base delle norme applicate per la progettazione.

L'entità ed il tipo di tali controlli, distruttivi e non distruttivi, in aggiunta a quello visivo al 100%, saranno definiti dal Collaudatore e dal Direttore dei Lavori; per i cordoni ad angolo o giunti a parziale penetrazione si useranno metodi di superficie (ad es. liquidi penetranti o polveri magnetiche), mentre per i giunti a piena penetrazione, oltre a quanto sopra previsto, si useranno metodi volumetrici e cioè raggi X o gamma o ultrasuoni per i giunti testa a testa e solo ultrasuoni per i giunti a T a piena penetrazione.

Per l'omologazione degli elettrodi da impiegare nella saldatura ad arco può farsi utile riferimento alla norme UNI 5132:1974.

Per gli altri procedimenti di saldatura devono essere impiegati i fili, flussi o gas di cui alle prove di qualifica del procedimento.

Le caratteristiche dei materiali di apporto (tensione di snervamento, tensione di rottura, allungamento a rottura e resilienza) devono, salvo casi particolari precisati dal progettista, essere equivalenti o migliori delle corrispondenti caratteristiche delle parti collegate. Sono richieste caratteristiche di duttilità, snervamento, resistenza e tenacità in zona fusa e in zona termica alterata non inferiori a quelle del materiale base.

Le unioni saldate possono essere a piena penetrazione, a parziale penetrazione, ed unioni realizzate con cordoni d'angolo.

- *Unioni con saldature a piena penetrazione*

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	15 di 95

I collegamenti testa a testa, a T e a croce a piena penetrazione sono generalmente realizzati con materiali d'apporto aventi resistenza uguale o maggiore a quella degli elementi collegati. Pertanto, la resistenza di calcolo dei collegamenti a piena penetrazione si assume eguale alla resistenza di progetto del più debole tra gli elementi connessi. Una saldatura a piena penetrazione è caratterizzata dalla piena fusione del metallo di base attraverso tutto lo spessore dell'elemento da unire con il materiale di apporto.

➤ *Unioni con saldature a parziale penetrazione*

I collegamenti testa a testa, a T e a croce a parziale penetrazione vengono verificati con gli stessi criteri dei cordoni d'angolo. L'altezza di gola dei cordoni d'angolo da utilizzare nelle verifiche è quella teorica, corrispondente alla preparazione adottata e specificata nei disegni di progetto, senza tenere conto della penetrazione e del sovrametallo di saldatura, in conformità con la norma UNI EN ISO 9692-1:2005.

**NB: Le saldature vanno intese ad arco con elettrodi rivestiti. Gli elettrodi impiegati dovranno essere del tipo omologato secondo le norme UNI 5132. Essendo il tipo di acciaio peggiore utilizzato S355 e lo spessore della lamiera minore di 30 mm si adotteranno elettrodi di tipo E44 di classi di qualità 2, 3 o 4.**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	16 di 95

#### 4.2.-..OPERE IN CALCESTRUZZO ARMATO

Per i calcestruzzi si fa riferimento alle normative UNI EN 206-1 (Specificazione, prestazione, produzione e conformità) e UNI 11104 (Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1).

##### 4.2.1.-..Strutture in fondazione

Classe di resistenza	C25/30 ( $R_{ck}$ 300)
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza slump	S4
Contenuto minimo di cemento	300 kg/mc
Rapporto A/C	$\leq 0,60$
Aggregato	Conforme a UNI EN 12620
Massima dimensione aggregato	25 mm
Copriferro minimo	40 mm
Acqua	Conforme a UNI EN 1008
Cemento	CEM II/A-LL 42.5 R (Conforme a UNI-EN-197/1)
Resistenza Caratteristica Cubica	$R_{ck} = 30$ MPa
Resistenza Caratteristica Cilindrica	$f_{ck} = 25$ MPa
Resistenza Caratteristica Cilindrica media	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 33$ MPa
Resistenza media a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3} = 2,56$ MPa
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2f_{ctm} = 3,08$ MPa
Resistenza media a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} = 0.7f_{ctm} = 1,79$ MPa
Resistenza media a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} = 1.3f_{ctm} = 3,33$ MPa
Modulo Elastico	$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0.3} = 31476$ MPa
Coefficiente di Poisson	$\nu = 0.1$
Coefficiente di espansione termica lineare	$\alpha = 10 \times 10^{-6}$ per °C <sup>-1</sup>
Peso Specifico	$\gamma_{cls} = 25,0$ kN/m <sup>3</sup>
Coefficiente di sicurezza allo SLU	$\gamma_c = 1,5$
Resistenza di calcolo a compressione SLU	$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck} / \gamma_c = 14,17$ MPa
Resistenza di calcolo a traz. semplice SLU	$f_{ctd} = 0.7 \cdot f_{ctk} / \gamma_c = 1,20$ MPa
Coefficiente di sicurezza allo SLE	$\gamma_c = 1,0$
Combinazione RARA	$\sigma_{c,adm} = 0.60 \cdot f_{ck} = 15,00$ MPa
Combinazione QP	$\sigma_{c,adm} = 0.45 \cdot f_{ck} = 11,25$ MPa

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	17 di 95

#### 4.2.2.-..Acciaio per calcestruzzo armato

Acciaio per calcestruzzo armato tipo B 450 C secondo DM 17.01.2018 avente le seguenti caratteristiche:

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Modulo Elastico	$E_s = 206000 \text{ MPa}$
Rapporto	$1,15 \leq (f_t / f_y)_k < 1,35$ (frattile 10%)
Rapporto	$(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1,25$ (frattile 10%)
Allungamento	$(A_{gt})_k \geq 7,5\%$ (frattile 10%)
Coefficiente di sicurezza allo SLU	$\gamma_s = 1,15$
Resistenza di calcolo SLU	$f_{yd} = f_{y,k} / \gamma_s = 391,3 \text{ MPa}$
Tensione di calcolo SLE	$\sigma_{s,adm} = 0.80 \cdot f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

**La rispondenza dei materiali ai requisiti richiesti sarà valutata mediante le prescritte prove di accettazione.**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	18 di 95

## 5.-..CARATTERISTICHE TERRENO DI FONDAZIONE

La definizione delle caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione è stata condotta a partire dagli elaborati di seguito elencati:

- IP0000D26RGGE0000001A

dai quali è stato possibile individuare e caratterizzare il profilo stratigrafico presente nel sito di ubicazione del palo in questione

Nello specifico, il terreno di fondazione per il sostegno in esame ubicato alla pk 7+460 km è caratterizzabile attraverso i seguenti parametri meccanici:

UNITA' GEOTECNICA [ - ]	DA [m P.C.]	A [m P.C.]	$\gamma$ [kPa]	$\varphi_k'$ [ ° ]	$C_k$ [kPa]	H falda da P.C.[m]
LIMO (L)	0,00	6,00	19	27	12	21 - 24
GHIAIA (G)	6,00	26,00	19	37	0	
LIMO (L2)	26,00	32,00	19	27	12	
SABBIA (S)	32,00	38,00	19	35	0	
GHIAIA (G)	>38	-	19	37	0	

**Tabella 1 -Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici – Tratta da pk 7+250 a pk 7+800**

Dove

- $\varphi_k'$  = angolo di attrito interno
- $C_k$  = coesione
- $\gamma$  = peso di volume

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, per la tratta in esame, le indagini condotte hanno identificato un suolo di **categoria C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{eq,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s" in accordo con il D.M.17/01/2018.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	19 di 95

## **6.-..MODELLO DI CALCOLO**

### **6.1.-..CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI**

Per il calcolo delle azioni gravanti sugli elementi strutturali si è fatto ricorso ad un foglio di calcolo sviluppato da Italiana Sistemi, all'uopo verificato e validato, secondo le indicazioni della normativa vigente NTC2018.

Per il calcolo delle sollecitazioni gravanti sugli elementi strutturali si è fatto ricorso al codice di calcolo FEM SAP2000 V23.2.0 (di seguito SAP2000) della Csi Berkeley, distribuito in Italia dalla Csi Italia Srl.

Per quanto riguarda le fondazioni, si è fatto ricorso al programma di calcolo API Plinti v14 della Aztec Informatica.

### **6.2.-..MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA**

Per la modellazione della struttura, al fine della determinazione delle sollecitazioni, si è fatto ricorso al codice di calcolo SAP2000 v23. In particolare è stato valutato un modello che considera il sostegno incastrato alla base mentre la modellazione di tutte le strutture metalliche è stata effettuata mediante degli elementi "frame", inseriti nella loro esatta posizione.

In particolare, si effettueranno:

- le verifiche di resistenza allo SLU dell'intero palo;
- le verifiche di instabilità globale dell'intero palo;
- le verifiche di deformabilità allo SLE determinando, al contempo, lo strapiombo da assegnare al palo;
- le verifiche geotecniche del plinto di fondazione.

Il calcolo delle sollecitazioni indotte dalle azioni verticali e orizzontali è stato, quindi, impostato in ottemperanza delle nuove norme sulle costruzioni di cui al DM del 17-01-18, tenendo comunque a riferimento le Normative CEI-EN50119, CEI-EN50341 e CEI-EN50423 nonché della Istruzione Tecnica RFI\_DMA\_IM\_TE\_SP\_IFS\_006\_A.

Le caratteristiche della sollecitazione prodotte nel sostegno dai carichi verticali e orizzontali sono state determinate con le tradizionali formule della Scienza delle Costruzioni che rispondono ad un'analisi elastica lineare.

**PROGETTO DEFINITIVO**

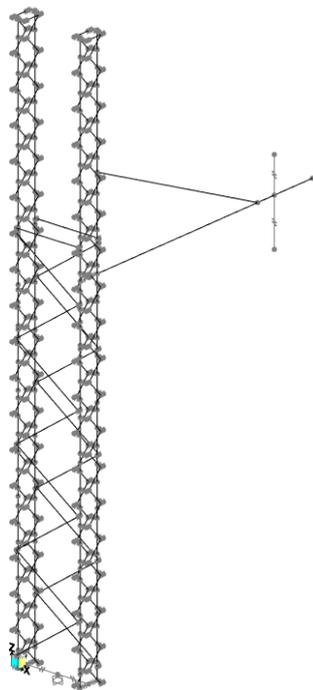
LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	20 di 95

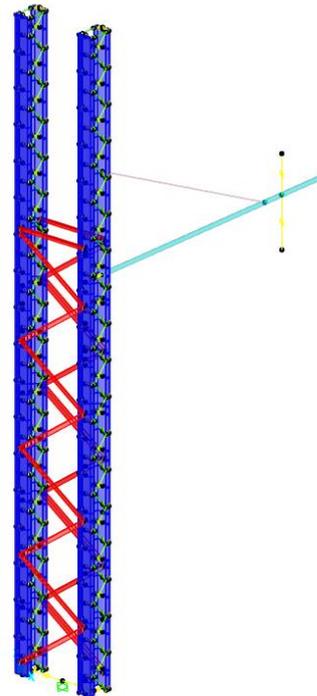
Il calcolo è stato quindi sviluppato sia allo SLE che allo SLU, elaborando le combinazioni dettate dalla normativa sia per i carichi verticali che orizzontali.

Sulla base delle sollecitazioni indotte e di cui alle combinazioni si sono effettuate le verifiche delle varie sezioni del sostegno.

Di seguito si riporta l'unifilare e l'estrusione in elementi solidi del modello di calcolo realizzato:



**Figura 8 – Modello unifilare**



**Figura 9 – Modello estruso**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	21 di 95

## 7.-..ANALISI DEI CARICHI

In quanto segue si riporta l'analisi dei carichi agenti sulle strutture in oggetto, tale analisi è svolta per determinare i valori da inserire sullo schema di calcolo del modello. Alcuni carichi sono determinati in maniera automatica dal programma di analisi, altri sono inseriti manualmente.

Si fa presente quanto segue:

Condizioni di carico (CEI EN 50119)

- A: Temperatura ambiente minima  $T = -20^{\circ}\text{C}$  in assenza di altre azioni climatiche;
- B: Temperatura ambiente minima  $T = -5^{\circ}\text{C}$  con azione combinata di vento e ghiaccio;
- C: Temperatura ambiente minima  $T = +5^{\circ}\text{C}$  con azione del solo vento.

### 7.1.-..PESO PROPRIO ELEMENTI STRUTTURALI

I pesi dei materiali utilizzati per le strutture portanti sono conformi alle NTC 2018.

Si sono pertanto considerati i seguenti pesi specifici:

- membrature in acciaio (G1) 7850 daN/m<sup>3</sup>
- calcestruzzo armato è stato assunto (G1) 2500 daN/m<sup>3</sup>

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	22 di 95

## 7.2.-..SOVRACCARICHI PERMANENTI VERTICALI

### 7.2.1.-..Peso dei conduttori e della relativa pendinatura

Tali carichi sono costituiti dalle forze dovute al peso dei conduttori in sospensione con relativa pendinatura, al peso del cavo in fibra ottica, al peso dei conduttori del circuito di terra ed al peso di collegamenti aerei dello stesso se presenti.

Considerando la campata media tra quella immediatamente precedente ed immediatamente successiva al sostegno in oggetto i carichi a metro lineare, in accordo con le normative sopracitate e con gli standard RFI, i carichi a metro lineare risultano:

- Peso 1 corda portante (NLC): 1,070 daN/m
- Peso 1 filo di contatto (NLC): 0,916 daN/m
- Peso 1 conduttore TACSR (NCT1,2): 0,468 daN/m
- Peso corde attraversamento CdT (NATTR): 1,070 daN/m
- Peso pendinatura (NLC): 0,200 daN/m

### 7.2.2.-..Azione delle apparecchiature di sospensione

Il peso della mensola di sospensione e del relativo tirante, variabili in funzione della posizione della sospensione, è ricavato in automatico dal foglio di calcolo sulla base dei pesi unitari degli stessi elementi, in particolare:

- Peso mensola in alluminio (NMENS): 6,500 daN/m
- Peso tirante in acciaio (NTIR): 1,600 daN/m
- Peso sospensione tradizionale (NSOSP): 22,00 daN

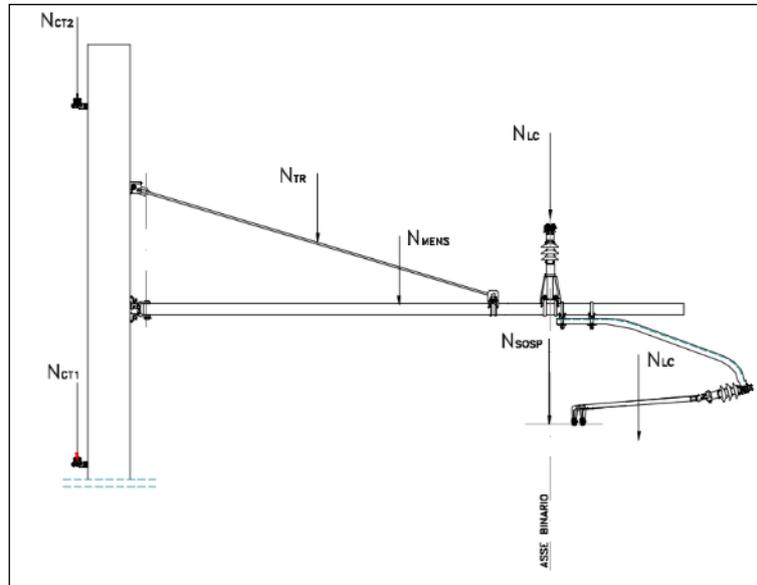
Di seguito si riporta uno schema rappresentativo e sintetico delle azioni che vengono a considerarsi nei calcoli (l'immagine del palo è indicativa).

Per la puntuale definizione del caso di specie si rimanda all'elaborato IP00PDD18P8LC0100008A in cui si dettaglia il piano di elettrificazione.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	23 di 95



### 7.2.3.-..Azione del tirante a terra

Per i pali di ormeggio deve essere considerata anche la componente verticale che agisce in asse al sostegno, dovuta al tiro dei conduttori (o stralli) ormeggiati generata dalla presenza del tirante a terra.

Tale azione risulta funzione della totale dei tiri applicati ai conduttori ormeggiati e dell'angolo che forma il tirante a terra  $\alpha$ , e risulta:

$$N_{TT} = \sum T_{om} \cdot tg(\alpha)$$

### 7.3.-..SOVRACCARICHI PERMANENTI ORIZZONTALI

#### 7.3.1.-..Azioni trasversali dovute ai tiri

I tiri a cui sono soggetti fili, corde e conduttori, per effetto della poligonazione degli stessi in rettilineo o in curva, generano azioni orizzontali sul sostegno che sono stati valutati, in accordo con le normative di riferimento, con le seguenti relazioni valide per l'i-esimo conduttore:

$$H_{CURV,i} = n_i \cdot T_i \cdot \left( \frac{C_1}{2 \cdot R} + \frac{C_2}{2 \cdot R} \right) \quad \text{Azione in curva}$$

$$H_{POL,i} = n_i \cdot T_i \cdot \left[ \frac{(Dp - Dp_1)}{C_1} + \frac{(Dp - Dp_2)}{C_2} \right] \quad \text{Azione in rettilineo}$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	24 di 95

$$H_{VER,i} = \frac{n_i T_i a}{C_m}$$

Azione di vertice

Per i conduttori regolati il tiro risulta costante al variare delle condizioni climatiche, mentre per i conduttori fissi il tiro risulta funzione della temperatura minima di esercizio e della lunghezza di campata (con proporzionalità inversa rispetto a quest'ultima). I tiri nominali, relativi alla temperatura di +15°, risultano:

- Tiro corda portante (Hi,CP): 1125 daN
- Tiro filo di contatto (Hi,FC): 1000 daN
- Tiro conduttore TACSR (Hi,CT1,2): 350 daN
- Tiro strallo punto fisso (Hi,STR): 700 daN

A causa della poligonazione della Ldc e dello strallo di punto fisso le azioni orizzontali risultano:

	H <sub>POL,FC</sub> [daN]	H <sub>VPF1DX</sub> [daN]
t = -20°C	30,19	45,12
t = -5°C	30,19	76,73
t = +5°C	30,19	58,45

Dove:

- (H<sub>POL,FC</sub>) è il valore dell' azione orizzontale dovuto alla poligonazione;
- (H<sub>VPF1DX</sub>) è il valore dell' azione orizzontale dovuto allo strallo del punto fisso.

### 7.3.2.-.Azioni parallele dovute ai tiri

Per quello che riguarda le azioni in questione, valgono le considerazioni già presentate al paragrafo precedente. Nella tabella seguente si riportano le azioni in oggetto presenti sul palo.

	L <sub>VPF1DX</sub> [daN]
t = -20°C	608,80
t = -5°C	1035,30
t = +5°C	788,50

Dove:

- (L<sub>VPF1DX</sub>) è il valore dell' azione longitudinale dovuto allo strallo del punto fisso

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	25 di 95

## 7.4.-..SOVRACCARICHI VARIABILI

Tra le azioni variabili rientrano sicuramente le azioni del ghiaccio, che viene considerato come sovraccarico verticale agente sui conduttori, e le azioni del vento, che viene considerato sia agente in direzione longitudinale (parallelo ai binari) che trasversale (ortogonale ai binari).

Di seguito si riportano i riferimenti normativi che hanno condotto al calcolo dei carichi da inserire nel modello di calcolo realizzato.

### 7.4.1.-..Variazione termica

Trattandosi di una struttura complessivamente isostatica si è considerato trascurabile l'influenza della temperatura sulle tensioni.

### 7.4.2.-..Azione del ghiaccio

Dal paragrafo 6.2.5 della normativa CEI EN 50119 risulta:

*“I carichi del ghiaccio si determinano per accumulo dovuto a brina, deposito di neve/ghiaccio e neve bagnata sui conduttori delle linee aeree di contatto. I carichi caratteristici del ghiaccio  $g_{IK}$  dipendono dal clima e dalle condizioni locali, per es. dall'altitudine, dalla vicinanza di laghi e dall'esposizione al vento. Le definizioni per i carichi del ghiaccio sono date nella EN 50125-2. I carichi dovuti al ghiaccio devono essere fissati nella specifica dell'acquirente.*

*Qualora richiesto nella specifica dell'acquirente, deve essere considerato l'effetto del ghiaccio sulle strutture”.*

Di conseguenza, prendendo in considerazione il paragrafo della norma CEI EN 50125-2, risulta:

*“Ove applicabile il carico della neve e del ghiaccio deve essere considerato fino a +5° C. I carichi del ghiaccio sui conduttori dovrebbero essere specificati come indicato nella Tabella 4.*

Classe Class	Carico del ghiaccio Iceload N/m
I 0 (nessun ghiaccio_ <i>no ice</i> )	0
I 1 (bassa_ <i>low</i> )	3,5
I 2 (medio_ <i>medium</i> )	7
I 3 (pesante_ <i>heavy</i> )	15

*Questi valori sono validi per conduttori con diametro usuale tra 10 mm e 20 mm”.*

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	26 di 95

Considerando quindi, una classe pesante (I 3), il carico a metro lineare del ghiaccio sui conduttori sarà

- Carico su 1 corda portante ( $N_{ICECP}$ ): 1,50 daN/m
- Carico su 1 filo di contatto ( $N_{ICEFC}$ ): 1,50 daN/m
- Carico su 1 TACSR ( $N_{ICECT1,2}$ ): 1,50 daN/m
- Carico su 1 strallo P.F. ( $N_{ICESTR}$ ): 1,50 daN/m

### 7.4.3.-.Azione del vento

Dal paragrafo 6.2.4.2 della normativa CEI EN 50119 risulta:

La pressione dinamica del vento  $q_k$  misurata in N/m<sup>2</sup> agente sugli elementi di linea aerea di contatto deve essere determinata mediante la seguente formula:

$$q_k = \frac{1}{2} G_q \times G_t \times \rho V_R^2$$

dove

- $G_q$  è il fattore di risposta alle raffiche di vento così come definito nella ENV 1991-2-4:1995. Per le linee aeree di contatto di altezza pari a circa 10 m,  $G_q$  deve essere 2,05;
- $G_t$  è il fattore caratteristico del terreno che tiene in considerazione la protezione delle linee, Per esempio nelle trincee, negli attraversamenti delle città e delle foreste. Negli spazi aperti  $G_t$  deve essere 1,0; per i siti protetti i fattori  $G_t$  possono essere definiti nella specifica del cliente; nel caso in esame si è assunto  $G_t=1$ ;
- $V_R$  è la velocità di riferimento del vento in m/s ad un'altezza di 10 m al di sopra del terreno, mediata su un intervallo di 10 minuti, con un periodo di ritorno in accordo con 6.2.4.1;
- $\rho$  è la densità dell'aria, pari a 1,316 kg /m<sup>3</sup> a -5°C e 0m di altitudine s.l.m.. La densità dell'aria per altri valori di temperatura ed altitudine può essere calcolata mediante l'equazione:

$$\rho = 1,225 \times \left( \frac{288}{T} \right) \cdot e^{-1,2 \cdot 10^{-4} \cdot H}$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	27 di 95

dove

- $T$  è la temperatura assoluta in K;
- $H$  è l'altitudine in m.

Di conseguenza, è stato preso come riferimento il DM 17/01/18 e la relativa Circolare Ministeriale del 21/01/19 per il calcolo della velocità di riferimento del vento.

La velocità di riferimento  $v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche  $v_b$  è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500m$$

- $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame,
- $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione".

dove  $v_b = V_r$

Tabella 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Essendo l'opera localizzata nella regione Emilia Romagna, appartenente alla zona 2 si ha:

$$v_{b,0} = \mathbf{25 \text{ m/s}}; \quad a_0 = \mathbf{750 \text{ m}}; \quad k_a = \mathbf{0,45 \text{ s}^{-1}}.$$

La quota del sito risulta inferiore al valore di  $a_0$ , essendo  $a_s = \mathbf{77 \text{ m s.l.m.}}$ , pertanto la pressione dinamica del vento risulterà:

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	28 di 95

$$q_k = 83,56 \text{ daN/m}^2$$

### 7.4.3.1.-. Vento trasversale (ai binari)

#### 7.4.3.1.1 Vento in assenza di ghiaccio

La pressione del vento sui conduttori è regolamentata dalla Norma CEI EN 50119 (§6.2.4.3):  
La pressione del vento sui conduttori determina forze trasversali alla direzione della linea. La forza agente su un sostegno per effetto dell'azione del vento sulle due campate adiacenti deve essere determinata mediante la formula:

$$Q_{WC} = q_k \times G_C \times d \times C_C \times \frac{L_1 + L_2}{2} \times \cos^2 \Phi$$

dove

- $q_k$  è la pressione dinamica caratteristica del vento (fare riferimento a 6.2.4.2);
- $G_C$  è il fattore di risposta strutturale dei conduttori che tiene in considerazione la risposta dei conduttori mobili al carico del vento. Il fattore  $G_C$  dovrebbe essere determinato sulla base dell'esperienza nazionale. Un valore ampiamente accettato sarebbe  $G_C = 0,75$  (valore assunto nei calcoli);
- $d$  è il diametro del conduttore;
- $C_C$  è il coefficiente di resistenza del conduttore. Si raccomanda il valore 1,0; altri valori possono essere forniti nella specifica del cliente; nel calcolo si è assunto  $C_C=1$ ;
- $L_1, L_2$  sono le lunghezze delle due campate adiacenti;
- $\Phi$  è l'angolo d'incidenza della direzione critica del vento rispetto alla perpendicolare al conduttore. In generale si assume  $\Phi$  pari a zero.

Qualora conduttori doppi siano tesati parallelamente, può essere operata una riduzione del carico del vento sul conduttore sottovento, ammontando tale carico all'80% del carico relativo al conduttore sopravvento se il distanziamento tra gli assi dei due conduttori è inferiore a cinque volte il diametro.

Di conseguenza il vento agente sui conduttori attivi può così riassumersi:

	$H_{WCP}$ [daN]	$H_{WFC}$ [daN]	$H_{WCT1}$ [daN]	$H_{WCT2}$ [daN]
t = -20°C	0	0	0	0
t = +5°C	84,45	71,20	53,00	53,00

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	29 di 95

Dove:

- ( $H_{WCP}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari sulla corda portante;
- ( $H_{WCF}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari sui fili di contatto;
- ( $H_{WCT1}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari dovuti all'ormeggio della prima CdT;
- ( $H_{WCT2}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari dovuti all'ormeggio della seconda CdT;

Il vento agente sulla struttura può essere calcolato utilizzando quanto prescritto nella NTC 2018. Nella fattispecie, la pressione del vento è data dall'espressione (§3.3.4):

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

Dove:

- $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento, di cui al §3.3.6;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione di cui al §3.3.7;
- $c_p$  è il coefficiente di pressione di cui al §3.3.8;
- $c_d$  è il coefficiente dinamico di cui al §3.3.9.

Nel caso specifico, utilizzando quanto previsto al §3.3.8.7 della Circolare per strutture tralicciate, si ottiene il valore di pressione seguente.

$$p = 196 \text{ daN/m}^2$$

Tale pressione, per essere applicata sulla struttura in questione, modellata con elementi monodimensionali, è stata riportata a un carico lineare, moltiplicandola per la superficie di ciascun elemento sia in direzione trasversale ai binari ( asse y) che in direzione longitudinale ai binari (asse x). Ottenendo, conseguentemente:

$$p_{w,1} = 196 \times 0,22 = 43 \text{ daN/m lungo y sull'UPN}$$

$$p_{w,2} = 196 \times 0,06 = 12 \text{ daN/m lungo y sul traliccio angolare}$$

$$p_{w,3} = 196 \times 0,08 = 16 \text{ daN/m lungo x sull' UPN}$$

$$p_{w,4} = 196 \times 0,024 = 2,4 \text{ daN/m lungo x sul traliccio circolare}$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	30 di 95

*7.4.3.1.2 Vento in presenza di ghiaccio*

La presenza contemporanea dell'azione del vento e di quella del ghiaccio è regolamentata dalla Norma CEI 50119 (§6.2.6):

Qualora per il progetto degli impianti e delle strutture della linea aerea di contatto siano prese in considerazione le azioni combinate dei carichi del ghiaccio e del vento, si può assumere il 50% del carico del vento, conformemente a 6.2.4, come agente sulle strutture e sulle apparecchiature senza ghiaccio e sui conduttori coperti da ghiaccio in accordo con 6.2.5. Un valore alternativo può essere fissato nella specifica dell'acquirente. La forza peso unitaria  $p_i$  del ghiaccio può essere estratta da norme appropriate ed il coefficiente di resistenza aerodinamica può essere scelto pari a 1,0.

Se definito nella specifica, si deve considerare un incremento del diametro dell'accumulo di ghiaccio. Il diametro equivalente  $D_1$  in metri dell'accumulo di ghiaccio deve essere calcolato mediante la formula:

$$D_1 = \sqrt{d^2 + \frac{4 \times g_{\text{IK}}}{\pi \times \rho_1}}$$

dove

- $d$  è il diametro del conduttore senza ghiaccio misurato in metri;
- $g_{\text{IK}}$  è il carico caratteristico del ghiaccio misurato in N/m.

Di conseguenza il vento agente sui conduttori attivi può così riassumersi:

	$H_{\text{WCP}}$ [daN]	$H_{\text{WCF}}$ [daN]	$H_{\text{WCT1}}$ [daN]	$H_{\text{WCT2}}$ [daN]
$t = -5^\circ\text{C}$	146,51	144,74	82,33	82,33

Dove:

- ( $H_{\text{WCP}}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari sulla corda portante;
- ( $H_{\text{WCF}}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari sui fili di contatto;
- ( $H_{\text{WCT1}}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari dovuti all'ormeggio della prima CdT;
- ( $H_{\text{WCT2}}$ ) è il valore dell' azione trasversale ai binari dovuti all'ormeggio della seconda CdT;

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	31 di 95

**7.4.3.2.-. Vento longitudinale (ai binari)**

Il vento agente sulla struttura in tale direzione è stato calcolato nella medesima maniera del vento agente in direzione trasversale ai binari, a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti. Di conseguenza il vento agente sui conduttori attivi *in assenza di ghiaccio* può così riassumersi:

	$L_{WMEN1DX}$ [daN]	$L_{WIS1DX}$ [daN]
t = -20°C	0	0
t = +5°C	9,33	33,12

Analogamente, il vento agente sui conduttori attivi *in presenza di ghiaccio* può così riassumersi:

	$L_{WMEN1DX}$ [daN]	$L_{WIS1DX}$ [daN]
t = -5°C	5,31	10,62

Dove:

- ( $L_{WMEN1DX}$ ) è il valore dell' azione longitudinale ai binari sulla mensola;
- ( $L_{WIS1DX}$ ) è il valore dell' azione longitudinale ai binari sull'isolatore.

**PROGETTO DEFINITIVO**

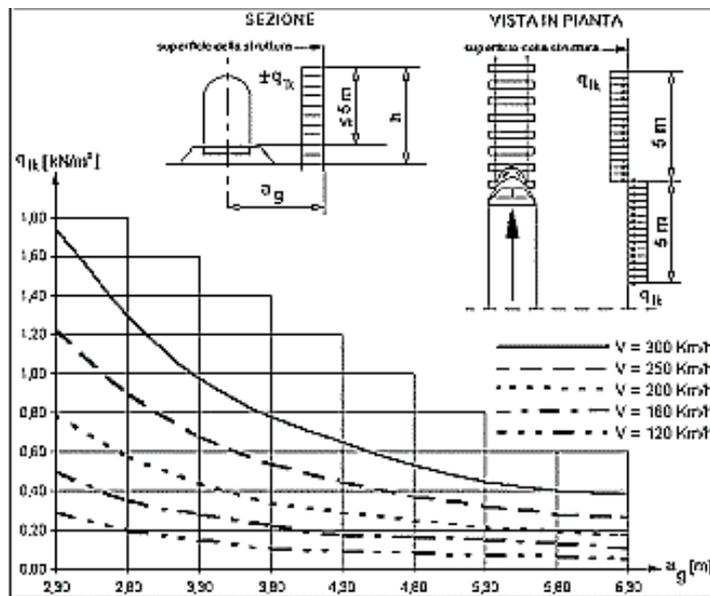
LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	32 di 95

**7.5.-..PRESSIONE AERODINAMICA**

Per il calcolo degli effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari si fa riferimento alle NTC 2018 (§5.2.2.6).

I valori caratteristici dell'azione  $q_{1k}$  relativi a superfici verticali parallele al binario sono forniti in funzione della distanza  $a_g$  dall'asse del binario più vicino.



Assumendo una velocità del treno di 300 km/h e con  $a_g=3,70$  m, tenendo conto dei fattori correttivi  $k_1=1,0$  e  $k_2=1,3$ , si ottiene un valore di  $q_{1k}$  pari a **80,00 daN/mq**.

**7.6.-..AZIONI ECCEZIONALI**

In caso di sostituzione dei fili di contatto, viene considerato il carico eccezionale dovuto al peso dei vecchi fili sostenuti dalla sospensione prima di essere rimossi. Di conseguenza le azioni possono così riassumersi:

$N_{LC1DX}$ [daN]	$H_{VPF1DX}$ [daN]
131,34	147,83

Dove:

- ( $N_{LC1DX}$ ) è il valore dell' azione normale dovuta alla linea di contatto;
- ( $H_{VPF1DX}$ ) è il valore dell' azione trasversale dovuta allo strallo di punto fisso.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	33 di 95

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	34 di 95

### 7.7.-..AZIONE SISMICA

Per il calcolo dell'azione sismica si fa riferimento agli spettri della NTC 2018.

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

#### 7.7.1.-..Zonazione sismica

Per la caratterizzazione sismica del sito si è utilizzata la microzonazione di cui al DM 17/01/2018, introducendo le coordinate geografiche di latitudine e longitudine del sito di Vicofertile (PR), valutando il relativo spettro di risposta allo SLV.

Gli spettri di calcolo vengono pertanto imposti dalla nuova normativa in funzione della latitudine e longitudine del sito.

Quindi nel caso della struttura in oggetto si sono assunti i seguenti valori:

**Latitudine**

**44,7787**

**Longitudine**

**10,2581**



Figura 10 - Vista aerea luogo di interesse *from Google Earth*

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	35 di 95

### **7.7.2.-..Vita Nominale**

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, la vita nominale risulta  $V_N = 50$  anni.

### **7.7.3.-..Classe d'uso**

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operativa o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classe d'uso. Nel caso in oggetto, poiché trattasi di un'opera appartenente ad una rete ferroviaria di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, si fa riferimento alla Classe II: "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti."

### **7.7.4.-..Periodo di riferimento per l'azione sismica**

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso e nel caso specifico assume valore pari a  $C_U = 1$  per la classe d'uso II.

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1 = 50 \text{ anni}$$

### **7.7.5.-..Azioni di progetto**

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC 18, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC 18 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	36 di 95

- $T_C^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le forme spettrali previste dalle NTC 18 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e da vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine si utilizza come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante la seguente espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

**Tabella 3.2.I** – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$ , relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento, sono forniti nelle tabelle riportate nell'Allegato B delle NTC18, in funzione di prefissati valori del periodo di ritorno  $T_R$ . L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in  $g/10$ ,  $F_0$  è adimensionale,  $T_C^*$  è espresso in secondi.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a latitudine e longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine.

STATO LIMITE	$T_R$ [ANNI]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.048	2.459	0.241
SLD	50	0.060	2.486	0.256
SLV	475	0.151	2.454	0.279

**PROGETTO DEFINITIVO**

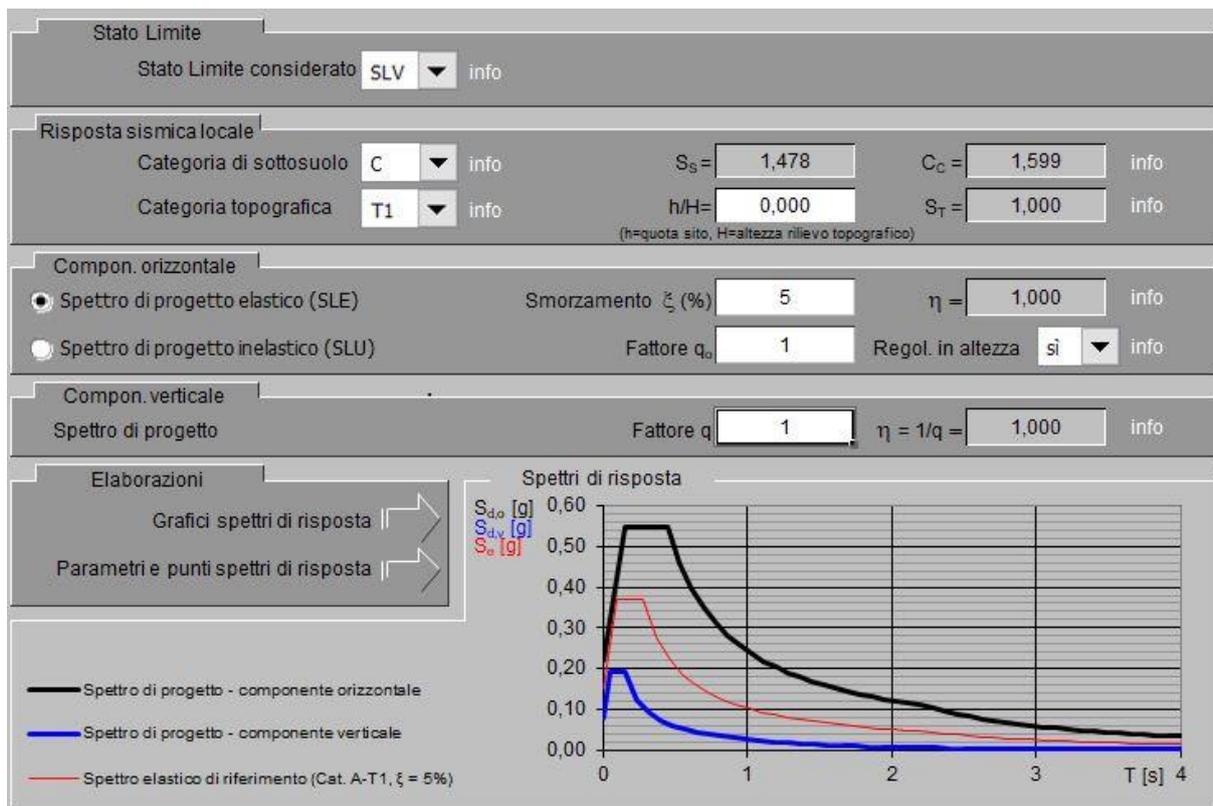
LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	37 di 95

SLC	975	0.192	2.465	0.287
-----	-----	-------	-------	-------

### 7.7.6.-.Spettro di progetto SLV

Lo spettro di risposta allo stato limite ultimo risulta univocamente determinato (vedi Figura 11), scegliendo i parametri necessari descritti precedentemente, e cioè la località (nel caso in esame longitudine: **10.25810**; latitudine: **44.77870**), lo stato limite (nel caso in esame SLV), il periodo di riferimento  $V_r$  dell'opera (nel caso in esame 50 anni), le componenti dell'azione sismica (nel caso in esame solo le componenti orizzontali), la categoria del sottosuolo (nel caso in esame Categoria C), la categoria topografica (nel caso in esame T1).



**Figura 11 - Response Spectrum Function**

Per la struttura in oggetto, si è scelto di utilizzare nei calcoli il valore di accelerazione al plateau ( $a_g/g=0,547$ )

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	38 di 95

**7.8.-..COMBINAZIONI DEI CARICHI**

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (§ 2.5.3 NTC 18):

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

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_p P + \gamma_{Q1} Q_{K1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{K2} + \gamma_{Q3} \psi_{03} Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica (rara), impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili (verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7 NTC 18):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \psi_{02} Q_{K2} + \psi_{03} Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{K1} + \psi_{22} Q_{K2} + \psi_{23} Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{K1} + \psi_{22} Q_{K2} + \psi_{23} Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} Q_{K1} + \psi_{22} Q_{K2} + \dots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} Q_{K1} + \psi_{22} Q_{K2} + \dots$$

Le condizioni elementari di carico sono opportunamente combinate per determinare le condizioni più sfavorevoli per ciascun elemento strutturale.

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

In presenza di Azioni Sismiche la già menzionata normativa, per le combinazioni di carico, prevede la seguente espressione (§ 3.2.4 NTC 18):

$$G_2 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [3.2.17 \text{ NTC } 18]$$

dove:

- $E$  Azione sismica per lo stato limite preso in esame
- $G_1$  e  $G_2$  Carichi permanenti al loro valore caratteristico

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	39 di 95

- $P$  Valore caratteristico della precompressione.
- $Q_{kj}$  azioni variabili al loro valore caratteristico.

adottando  $\psi_{2j}$  indicati nella seguente tabella:

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Per cui per l'azione del vento e della neve si pone  $\psi_{2j} = 0$ .

Per i carichi dovuti al transito dei convogli si assume  $\psi_0 = 0,80$  e  $\psi_2 = 0,20$ .

Inoltre, sempre secondo le prescrizioni di cui al Paragrafo 7.2.1, bisogna considerare solo le due componenti orizzontali dell'azione, da considerare tra di loro indipendenti. (Sisma agente in senso longitudinale, sisma agente in senso trasversale).

Poiché l'analisi viene eseguita in campo lineare, la risposta può essere calcolata separatamente, per ciascuna delle due componenti, e gli effetti possono essere combinati quindi successivamente secondo la seguente espressione:

$$1.00 E_x + 0.30 E_y + 0.30 E_z$$

con rotazione degli indici, essendo  $E_i$  l'azione diretta secondo la direzione  $i$ .

Nel caso in esame si pone quindi  $E_z=0$ .

Nel caso di pali asse di punto fisso e ormeggio di punto fisso bisogna inoltre considerare l'azione eccezionale di due conduttori rotti (2 fili di contatto).

**PROGETTO DEFINITIVO**

 LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
 PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
 – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	40 di 95

### 7.8.1.-..Approccio agli Stati Limite

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) è stato adottato l'Approccio 2 (A1+M1+R3); in particolare con detto approccio si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e per la resistenza globale del sistema (R).

Di seguito si riportano i coefficienti parziali da adottare, secondo le NTC 18.

Tab. 2.6.I NTC 18 - Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche

#### SLU

CARICHI	EFFETTO	Coeff. parziale $\gamma_F$	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	1,0	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,3	1,3	1,0
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,45	1,45	1,25

Tab. 6.2.II (NTC 18) - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

		Coeff. Parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tang. angolo resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40

Tab. 6.4.I (NTC 18) – Coeff. parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli SLU di fondazioni superficiali

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	1,00	1,10	1,10
Ribaltamento	-	1,00	-

In particolare, le verifiche delle fondazioni dei pali, considerate come fondazioni dirette, sono state eseguite secondo gli approcci riportati di seguito:

	Statica	Sismica
Carico limite	A1+M1+R3	SIS+M1+R3
Scorrimento	A1+M1+R3	SIS+M1+R3
Ribaltamento	EQU+M2+R2	SIS+M2+R2

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	41 di 95

La verifica a ribaltamento è stata effettuata considerandolo come stato limite di equilibrio di corpo rigido, pertanto le azioni sono state considerate con i coefficienti EQU. Per il calcolo delle spinte sono stati considerati i coefficienti parziali M2 ed è stato utilizzato il coefficiente di sicurezza globale R2, in analogia con l'approccio A2+M2+R2, posto pari a 1 così come gli altri coefficienti R2 della tabella 6.5.1 propria dei muri di sostegno.

### 7.8.2.-.Condizioni di carico

Nel caso specifico la struttura è stata risolta per le condizioni di carico elementari di seguito definite:

CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO	
Condizione	Tipologia (NTC 18)
G <sub>1</sub> : C.P.S.	Permanente strutturale
G <sub>2</sub> : C.P.N.S.	Permanente non strutturale
Q <sub>1</sub> : ICE	Neve (quota < 1000 m)
Q <sub>2</sub> : WIND X (no ice)	Vento
Q <sub>3</sub> : WIND X (ice)	Vento
Q <sub>4</sub> : WIND Y	Vento
Q <sub>5</sub> : AERODINAMICA	Aerodinamica
ECC1	Eccezionale
Sisma X	Sisma
Sisma Y	Sisma

Tabella 2 - Condizioni elementari di carico

### 7.8.3.-.Combinazioni di carico di progetto

Di seguito si riportano le combinazioni dei carichi elaborate nell'ambito del foglio di calcolo sviluppato, al fine di determinare le condizioni più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico definite tengono conto dei tre differenti valori della temperatura considerati (e di conseguenza del tiro associato con i relativi carichi), ovvero T=-20°C, T=-5°C, T=+5°C. In particolare, sono state seguite le seguenti indicazioni:

- condizione A: temperatura ambiente minima pari a -20°C in assenza di altre azioni climatiche (vento e ghiaccio);
- condizione B: temperatura ambiente pari a -5°C con azione combinata di vento e ghiaccio;
- condizione C: temperatura ambiente pari a +5°C con azione del solo vento.

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC000006	B	42 di 95

**COMBINAZIONI DI CARICO - condizione A (T=-20°C: NO ICE; NO WIND)**

COMBINAZIONE	CONDIZIONE	STR 1_A	STR 2_A	STR 3_A	STR 4_A	STR 5_A	SLV 1_A	SLV 2_A	SLV 3_A	SLV 4_A	SLV 5_A	SLV 6_A	SLV 7_A	SLV 8_A
G1: C.P.S.	FAV	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G1: C.P.S.	SFAV	1.30	1.30	1.00	1.00	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G2: C.P.N.S.	FAV	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G2: C.P.N.S.	SFAV	1.50	1.50	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Q5: AERODINAMICA	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q5: AERODINAMICA	SFAV	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ECC 1	-	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ECC 2	-	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRENO LM71	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRENO LM71	SFAV	0.00	0.20	0.20	0.20	1.45	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
SISMA X	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30
SISMA Y	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30	1.00	1.00	-1.00	-1.00

**COMBINAZIONI DI CARICO - condizione B (T=-5°C: 100% ICE; 50% WIND)**

COMBINAZIONE	CONDIZIONE	STR 1_B	STR 2_B	STR 3_B	STR 4_B	STR 5_B	STR 6_B	STR 7_B	STR 8_B	STR 9_B	STR 10_B	SLV 1_B	SLV 2_B	SLV 3_B	SLV 4_B	SLV 5_B	SLV 6_B	SLV 7_B	SLV 8_B
G1: C.P.S.	FAV	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G1: C.P.S.	SFAV	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.00	1.30	1.00	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G2: C.P.N.S.	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G2: C.P.N.S.	SFAV	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Q1: ICE	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q1: ICE	SFAV	0.00	1.50	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q2: WIND X (no ice)	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q2: WIND X (no ice)	SFAV	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q3: WIND X (ice)	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q3: WIND X (ice)	SFAV	0.00	0.90	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q4: WIND Y	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q4: WIND Y	SFAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q5: AERODINAMICA	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q5: AERODINAMICA	SFAV	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRENO LM71	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRENO LM71	SFAV	0.00	1.16	1.16	1.16	0.20	1.16	0.20	1.16	0.20	1.45	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
ECC 1	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ECC 2	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SISMA X	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30	0.30	-0.30
SISMA Y	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30	1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00

**PROGETTO DEFINITIVO**
**LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
 PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
 – RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	43 di 95

**COMBINAZIONI DI CARICO - condizione C (T=+5°C; NO ICE; 100% WIND)**

COMBINAZIONE	CONDIZIONE	STR 1_C	STR 2_C	STR 3_C	STR 4_C	STR 5_C	STR 6_C	STR 7_C	STR 8_C	SLV 1_C	SLV 2_C	SLV 3_C	SLV 4_C	SLV 5_C	SLV 6_C	SLV 7_C	SLV 8_C
G1: C.P.S.	FAV	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G1: C.P.S.	SFAV	1.30	1.30	1.30	1.30	1.00	1.30	1.00	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G2: C.P.N.S.	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
G2: C.P.N.S.	SFAV	1.50	1.50	1.50	1.50	1.00	1.50	1.00	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Q2: WIND X (no ice)	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q2: WIND X (no ice)	SFAV	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q4: WIND Y	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q4: WIND Y	SFAV	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q5: AERODINAMICA	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q5: AERODINAMICA	SFAV	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRENO LM71	FAV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TRENO LM71	SFAV	0.00	1.16	0.20	1.16	0.20	1.16	0.20	1.45	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
ECC 1	-	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ECC 2	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SISMA X	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30
SISMA Y	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	-0.30	0.30	-0.30	1.00	1.00	-1.00	-1.00

Si specifica che l'azione del vento è stata considerata agente sempre nella direzione sfavorevole, ovvero nella direzione concorde con quella dell'azione dei carichi permanenti.

**PROGETTO DEFINITIVO**

 LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
 PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
 – RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	44 di 95

## 8.-..RISULTATI DEL CALCOLO

### 8.1.-..STRUTTURA IN ELEVAZIONE

In quanto segue si riportano le caratteristiche della sollecitazione calcolate alla base del sostegno, per le varie combinazioni di carico citate ed estrapolate dal programma di calcolo.

REAZIONI ALLA BASE DEL SOSTEGNO								
Nodo	Combinazione	StepType	F <sub>L</sub> - Long	F <sub>H</sub> - Trasv	N - Vert	M <sub>L</sub> - Long	M <sub>H</sub> - Trasv	M <sub>torcente</sub>
		Testo	KN	KN	KN	KNm	KNm	KNm
702	SLV1_A	Max	-7,86	8,17	22,47	107,74	-49,00	-0,20
702	SLV1_A	Min	-12,85	-11,83	21,81	-28,41	-83,15	-1,81
702	SLV2_A	Max	-7,86	8,17	22,47	107,74	-49,00	-0,20
702	SLV2_A	Min	-12,85	-11,83	21,81	-28,41	-83,15	-1,81
702	SLV3_A	Max	-7,86	8,17	22,47	107,74	-49,00	-0,20
702	SLV3_A	Min	-12,85	-11,83	21,81	-28,41	-83,15	-1,81
702	SLV4_A	Max	-7,86	8,17	22,47	107,74	-49,00	-0,20
702	SLV4_A	Min	-12,85	-11,83	21,81	-28,41	-83,15	-1,81
702	SLV5_A	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV5_A	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV6_A	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV6_A	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV7_A	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV7_A	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV8_A	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV8_A	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	STR1_A		-15,53	-2,75	30,25	59,30	-99,07	-1,51
702	STR2_A		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR3_A		-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82
702	SLV1_B	Max	-7,86	8,17	22,47	107,74	-49,00	-0,20
702	SLV1_B	Min	-12,85	-11,83	21,81	-28,41	-83,15	-1,81
702	SLV4_B	Max	-7,86	8,17	22,47	107,74	-49,00	-0,20
702	SLV4_B	Min	-12,85	-11,83	21,81	-28,41	-83,15	-1,81
702	SLV5_B	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV5_B	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV6_B	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV6_B	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV7_B	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV7_B	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV8_B	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV8_B	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	STR2_B		-15,53	-7,09	38,02	97,61	-102,02	-1,52
702	STR3_B		-15,53	-9,99	34,13	101,96	-100,54	-1,52
702	STR4_B		-15,53	-18,01	30,25	138,64	-99,07	-4,58
702	STR5_B		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR6_B		-18,46	-2,75	30,25	59,30	-113,38	-1,16

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	45 di 95

REAZIONI ALLA BASE DEL SOSTEGNO								
Nodo	Combinazione	StepType	F <sub>L</sub> - Long	F <sub>H</sub> - Trasv	N - Vert	M <sub>L</sub> - Long	M <sub>H</sub> - Trasv	M <sub>torcente</sub>
		Testo	KN	KN	KN	KNm	KNm	KNm
702	STR8_B		-15,53	-13,43	30,25	114,84	-99,07	-3,66
702	SLV5_C	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV5_C	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV6_C	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV6_C	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV7_C	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV7_C	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	SLV8_C	Max	-2,26	1,24	22,27	60,30	-10,07	0,07
702	SLV8_C	Min	-18,44	-4,90	22,01	19,02	-122,08	-2,08
702	STR1_C		-15,53	-2,75	30,25	59,30	-99,07	-1,51
702	STR2_C		-15,53	-14,46	30,25	118,34	-99,07	-3,11
702	STR3_C		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR4_C		-18,82	-2,75	30,25	59,30	-115,50	-0,30
702	STR5_C		-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82

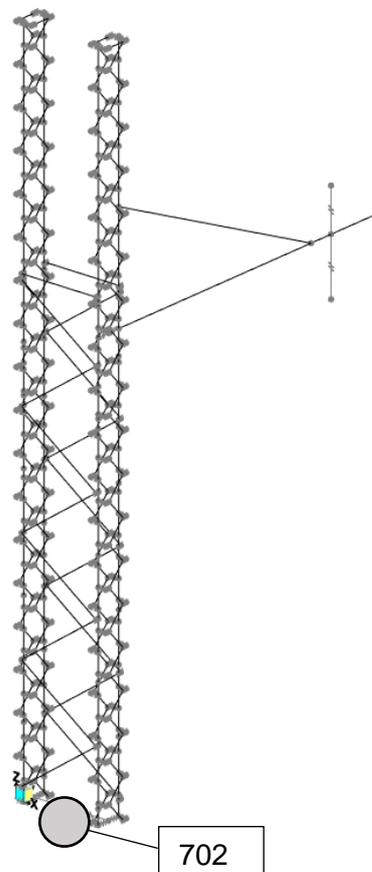


Figura 12 – Ubicazione del nodo per reazioni alla base

**PROGETTO DEFINITIVO**

 LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
 PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
 – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	46 di 95

## 8.2.-..STRUTTURA FONDALE

Si riporta di seguito una sintesi dei valori di sollecitazioni massimi e minimi per ogni combinazione di carico presente:

Momento max X = 54,9189 [kNm]	Taglio max X = 27,1269 [kN]
Momento min X = -41,9938 [kNm]	Taglio min X = -90,9953 [kN]
Momento max Y = 40,3607 [kNm]	Taglio max Y = 32,3064 [kN]
Momento min Y = -36,4206 [kNm]	Taglio min Y = -111,0104 [kN]

**Figura 13 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 1/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-12,9753	0,5295	-0,3120	-0,6706	-0,3951	0,6146	0,7783
2	62,7087	0,5091	-0,3120	-0,6447	-0,3951	0,5971	0,7561
3	-37,6649	0,5292	-0,2812	-0,6701	-0,3562	0,5993	0,7589
4	10,6604	0,5296	-0,3416	-0,6707	-0,4326	0,6302	0,7981
5	38,2173	0,5086	-0,2812	-0,6441	-0,3561	0,5812	0,7360
6	86,5431	0,5091	-0,3417	-0,6448	-0,4327	0,6132	0,7765

**Figura 14 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 1/11**

Momento max X = 45,8984 [kNm]	Taglio max X = 23,5530 [kN]
Momento min X = -32,0692 [kNm]	Taglio min X = -72,3283 [kN]
Momento max Y = 35,0343 [kNm]	Taglio max Y = 27,9458 [kN]
Momento min Y = -30,8270 [kNm]	Taglio min Y = -93,2158 [kN]

**Figura 15 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 2/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-5,2589	0,3968	-0,0994	-0,5025	-0,1258	0,4091	0,5180
2	55,2604	0,4430	-0,0994	-0,5610	-0,1258	0,4540	0,5750
3	-25,1980	0,3961	-0,1662	-0,5016	-0,2105	0,4295	0,5440
4	13,7581	0,3965	-0,0321	-0,5021	-0,0407	0,3978	0,5038
5	35,4673	0,4427	-0,1662	-0,5606	-0,2105	0,4729	0,5988
6	74,4169	0,4430	-0,0322	-0,5610	-0,0407	0,4442	0,5625

**Figura 16 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 2/11**

Momento max X = 58,6609 [kNm]	Taglio max X = 25,2919 [kN]
Momento min X = -42,5098 [kNm]	Taglio min X = -94,4932 [kN]
Momento max Y = 46,2726 [kNm]	Taglio max Y = 31,8464 [kN]
Momento min Y = -40,9522 [kNm]	Taglio min Y = -118,9181 [kN]

**Figura 17 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 3/11**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	47 di 95

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-6,8229	0,4737	0,4447	-0,5999	0,5631	0,6497	0,8228
2	58,7106	0,7868	0,4448	-0,9963	0,5633	0,9038	1,1445
3	-32,3243	0,4709	-0,0118	-0,5963	-0,0150	0,4710	0,5965
4	17,7116	0,4719	0,8999	-0,5975	1,1396	1,0161	1,2868
5	33,3283	0,7865	-0,0117	-0,9960	-0,0148	0,7866	0,9961
6	83,3309	0,7865	0,8999	-0,9960	1,1396	1,1951	1,5134

**Figura 18 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 3/11**

Momento max X = 56,9962 [kNm]	Taglio max X = 30,9371 [kN]
Momento min X = -42,3602 [kNm]	Taglio min X = -92,8764 [kN]
Momento max Y = 46,9323 [kNm]	Taglio max Y = 34,8670 [kN]
Momento min Y = -42,1649 [kNm]	Taglio min Y = -130,0310 [kN]

**Figura 19 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 4/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-18,6169	0,5337	-0,3680	-0,6758	-0,4660	0,6483	0,8209
2	69,4784	0,4885	-0,3680	-0,6186	-0,4661	0,6116	0,7745
3	-43,8158	0,5335	-0,3012	-0,6756	-0,3814	0,6126	0,7758
4	5,3745	0,5339	-0,4336	-0,6761	-0,5491	0,6878	0,8710
5	44,5090	0,4880	-0,3012	-0,6180	-0,3814	0,5735	0,7262
6	93,7027	0,4886	-0,4336	-0,6187	-0,5491	0,6533	0,8273

**Figura 20 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 4/11**

Momento max X = 55,8916 [kNm]	Taglio max X = 46,9270 [kN]
Momento min X = -42,6541 [kNm]	Taglio min X = -95,5130 [kN]
Momento max Y = 61,6928 [kNm]	Taglio max Y = 40,8232 [kN]
Momento min Y = -57,4273 [kNm]	Taglio min Y = -179,2957 [kN]

**Figura 21 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 5/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-37,4720	0,5619	-0,7505	-0,7116	-0,9504	0,9375	1,1872
2	87,3706	0,3482	-0,7505	-0,4409	-0,9505	0,8274	1,0477
3	-62,4210	0,5630	-0,4374	-0,7129	-0,5539	0,7129	0,9028
4	-14,0543	0,5631	-1,0611	-0,7131	-1,3437	1,2013	1,5212
5	62,7595	0,3476	-0,4374	-0,4402	-0,5539	0,5587	0,7075
6	111,1479	0,3484	-1,0612	-0,4412	-1,3438	1,1169	1,4144

**Figura 22 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 5/11**

Momento max X = 54,9189 [kNm]	Taglio max X = 27,1269 [kN]
Momento min X = -41,9938 [kNm]	Taglio min X = -90,9953 [kN]
Momento max Y = 40,3607 [kNm]	Taglio max Y = 32,3064 [kN]
Momento min Y = -36,4206 [kNm]	Taglio min Y = -111,0104 [kN]

**Figura 23 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 6/11**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	48 di 95

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-12,9753	0,5295	-0,3120	-0,6706	-0,3951	0,6146	0,7783
2	62,7087	0,5091	-0,3120	-0,6447	-0,3951	0,5971	0,7561
3	-37,6649	0,5292	-0,2812	-0,6701	-0,3562	0,5993	0,7589
4	10,6604	0,5296	-0,3416	-0,6707	-0,4326	0,6302	0,7981
5	38,2173	0,5086	-0,2812	-0,6441	-0,3561	0,5812	0,7360
6	86,5431	0,5091	-0,3417	-0,6448	-0,4327	0,6132	0,7765

**Figura 24 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 6/11**

Momento max X = 60,4033 [kNm]	Taglio max X = 34,1695 [kN]
Momento min X = -47,3336 [kNm]	Taglio min X = -101,0179 [kN]
Momento max Y = 51,9899 [kNm]	Taglio max Y = 37,8563 [kN]
Momento min Y = -47,8091 [kNm]	Taglio min Y = -147,7387 [kN]

**Figura 25 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 7/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-25,8026	0,6117	-0,5181	-0,7747	-0,6561	0,8017	1,0152
2	75,7758	0,5159	-0,5182	-0,6533	-0,6562	0,7312	0,9259
3	-53,1773	0,6119	-0,3772	-0,7748	-0,4776	0,7188	0,9102
4	0,2702	0,6122	-0,6574	-0,7753	-0,8325	0,8983	1,1376
5	48,6735	0,5153	-0,3772	-0,6526	-0,4776	0,6386	0,8087
6	102,1301	0,5160	-0,6574	-0,6535	-0,8325	0,8358	1,0584

**Figura 26 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 7/11**

Momento max X = 45,8984 [kNm]	Taglio max X = 23,5530 [kN]
Momento min X = -32,0692 [kNm]	Taglio min X = -72,3283 [kN]
Momento max Y = 35,0343 [kNm]	Taglio max Y = 27,9458 [kN]
Momento min Y = -30,8270 [kNm]	Taglio min Y = -93,2158 [kN]

**Figura 27 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 8/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-5,2589	0,3968	-0,0994	-0,5025	-0,1258	0,4091	0,5180
2	55,2604	0,4430	-0,0994	-0,5610	-0,1258	0,4540	0,5750
3	-25,1980	0,3961	-0,1662	-0,5016	-0,2105	0,4295	0,5440
4	13,7581	0,3965	-0,0321	-0,5021	-0,0407	0,3978	0,5038
5	35,4673	0,4427	-0,1662	-0,5606	-0,2105	0,4729	0,5988
6	74,4169	0,4430	-0,0322	-0,5610	-0,0407	0,4442	0,5625

**Figura 28 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 8/11**

Momento max X = 56,7507 [kNm]	Taglio max X = 27,0009 [kN]
Momento min X = -42,2182 [kNm]	Taglio min X = -92,9120 [kN]
Momento max Y = 41,3768 [kNm]	Taglio max Y = 32,5627 [kN]
Momento min Y = -36,7150 [kNm]	Taglio min Y = -111,9859 [kN]

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	49 di 95

**Figura 29 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 9/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-11,9347	0,5235	-0,2301	-0,6629	-0,2914	0,5718	0,7242
2	62,7580	0,5391	-0,2301	-0,6827	-0,2914	0,5862	0,7423
3	-37,0647	0,5229	-0,2521	-0,6621	-0,3192	0,5805	0,7351
4	12,1199	0,5234	-0,2073	-0,6628	-0,2625	0,5629	0,7129
5	37,8179	0,5387	-0,2521	-0,6822	-0,3192	0,5947	0,7531
6	86,9993	0,5391	-0,2073	-0,6828	-0,2625	0,5776	0,7315

**Figura 30 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 9/11**

Momento max X = 62,4301 [kNm]	Taglio max X = 22,5256 [kN]
Momento min X = -49,7249 [kNm]	Taglio min X = -107,2539 [kN]
Momento max Y = 29,0776 [kNm]	Taglio max Y = 29,1843 [kN]
Momento min Y = -25,3011 [kNm]	Taglio min Y = -79,8673 [kN]

**Figura 31 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 10/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	1,0957	0,6138	-0,0008	-0,7773	-0,0010	0,6138	0,7773
2	48,6890	0,7553	-0,0007	-0,9565	-0,0009	0,7553	0,9565
3	-27,6436	0,6122	-0,2065	-0,7752	-0,2614	0,6460	0,8181
4	29,0600	0,6130	0,2051	-0,7762	0,2597	0,6464	0,8185
5	20,0663	0,7548	-0,2064	-0,9559	-0,2614	0,7825	0,9910
6	76,7532	0,7552	0,2050	-0,9564	0,2596	0,7825	0,9910

**Figura 32 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 10/11**

Momento max X = 60,8330 [kNm]	Taglio max X = 30,0771 [kN]
Momento min X = -47,9053 [kNm]	Taglio min X = -102,4536 [kN]
Momento max Y = 46,1188 [kNm]	Taglio max Y = 35,6575 [kN]
Momento min Y = -42,0685 [kNm]	Taglio min Y = -128,7096 [kN]

**Figura 33 – Fondazione superficiale: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 11/11**

n°	N [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	M [kNm]	T [kN]
1	-19,0679	0,6108	-0,3978	-0,7735	-0,5037	0,7289	0,9230
2	69,0068	0,5698	-0,3978	-0,7216	-0,5037	0,6949	0,8800
3	-46,7245	0,6105	-0,3369	-0,7731	-0,4267	0,6973	0,8830
4	7,4184	0,6109	-0,4572	-0,7737	-0,5790	0,7631	0,9663
5	41,5843	0,5692	-0,3369	-0,7209	-0,4267	0,6615	0,8377
6	95,7300	0,5699	-0,4573	-0,7217	-0,5791	0,7306	0,9253

**Figura 34 – Pali: Sollecitazioni massime e minime – Combinazione 11/11**

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	50 di 95

## 9.-..CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

In conformità al D.M. LL.PP. 17 Gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” si sono adottati i seguenti criteri per le verifiche ed il controllo della sicurezza strutturale:

### 9.1.-..VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

La verifica della sicurezza agli stati limiti ultimi si ritiene soddisfatta controllando che, per ogni elemento strutturale e per ciascuna delle combinazioni prese in esame, risulti:

$$R_d \geq E_d$$

Dove  $R_d$  e  $E_d$  sono le resistenze di calcolo e le sollecitazioni di calcolo per ogni elemento strutturale.

#### 9.1.1.-..Strutture in elevazione in acciaio

La resistenza di calcolo delle membrature  $R_d$  si pone nella forma:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

dove:

$R_k$  è il valore caratteristico della resistenza - trazione, compressione, flessione, taglio e torsione della membratura, determinata dai valori caratteristici delle resistenze dei materiali  $f_{yk}$  e dalle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, dipendenti dalla classe della sezione;

- $\gamma_M$  è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato.

**Tabella 4.2.V** Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	51 di 95

Si possono assumere nei calcoli i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento  $f_{yk}$  e di rottura  $f_{tk}$  riportati nella tabella seguente (Tabella 11.3.IX)

**Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta**

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40$ mm		$40$ mm $< t \leq 80$ mm	
	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

**9.1.1.1.-.Verifica delle membrature**

*9.1.1.1.1 Verifica a tenso - flessione o presso - flessione biassiale*

In accordo con il §4.2.4.1.2.8 del DM18, per le sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a presso o tenso-flessione biassiale, la condizione di resistenza può essere valutata come:

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^{5n} \leq 1$$

con  $n \geq 0,2$  essendo  $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$ .

Nel caso in cui  $n < 0,2$ , e comunque per sezioni generiche di classe 1 e 2, la verifica può essere condotta cautelativamente controllando che:

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right) + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right) \leq 1.$$

Trattandosi di sezioni tubolari, la resistenza di calcolo risulta:

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	52 di 95

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

**9.1.1.1.2 Verifica a taglio**

In accordo con il paragrafo 4.2.4.1.2 delle NTC18, Il valore di calcolo dell'azione tagliante  $V_{Ed}$  deve rispettare la condizione:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove la resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$ , in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

dove  $A_v$  è l'area resistente a taglio.

Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f$$

per profilati a C o ad U caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + r) t_f ;$$

per profilati ad I e ad H caricati nel piano delle ali si può assumere

$$A_v = A - \sum (h_w t_w) ;$$

per profilati a T caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = 0,9 ( A - b t_f ) ;$$

per profili rettangolari cavi "profilati a caldo" di spessore uniforme si può assumere

$$A_v = Ah/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo all'altezza del profilo,}$$

$$A_v = Ab/(b+h) \text{ quando il carico è parallelo alla base del profilo;}$$

per sezioni circolari cave e tubi di spessore uniforme:

$$A_v = 2A/\pi;$$

dove:

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	53 di 95

- A è l'area lorda della sezione del profilo,
- b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave,
- $h_w$  è l'altezza dell'anima,
- h è l'altezza delle sezioni cave,
- r è il raggio di raccordo tra anima ed ala,
- $t_f$  è lo spessore delle ali,
- $t_w$  è lo spessore dell'anima.

In caso di verifica per effetti sismici oltre a questa verifica, per le travi, il taglio è incrementato della forza di taglio dovuta all'applicazione di momenti plastici equivalenti  $M_{pl,Rd}$  nelle sezioni in cui è attesa la formazione delle cerniere plastiche. e nel caso delle colonne, le azioni non sismiche sono incrementate del fattore  $1,1 \gamma_{Rd} \omega$ .

*9.1.1.1.3 Verifica a flessione e taglio*

Se il taglio di calcolo  $V_{Ed}$  è inferiore a metà della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{c,Rd}$$

si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione, eccetto nei casi in cui l'instabilità per taglio riduca la resistenza a flessione della sezione.

Se il taglio di calcolo  $V_{Ed}$  è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  bisogna tener conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Posto

$$\rho = \left[ \frac{2V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

la resistenza a flessione si determina assumendo per l'area resistente a taglio  $A_v$  la tensione di snervamento ridotta  $(1 - \rho) f_{yk}$ .

*9.1.1.1.4 Verifica a instabilità globale*

È stata prevista una ulteriore verifica di instabilità globale a pressoflessione della sezione del palo, che in accordo con il D.M.2018, viene effettuata mediante la seguente relazione (come riportato al §4.2.4.1.3.3 della Circolare 21 Gennaio 2019):

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	54 di 95

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{yeq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{zeq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} \leq 1$$

dove:

- $\chi_{\min}$  è il minimo fattore  $\chi$  relativo all'inflessione intorno agli assi principali di inerzia;
- $W_y$  e  $W_z$  sono i moduli resistenti elastici per le sezioni di classe 3 e i moduli resistenti plastici per le sezioni di classe 1 e 2,
- $N_{cr,y}$  e  $N_{cr,z}$  sono i carichi critici euleriani relativi all'inflessione intorno agli assi principali di inerzia;
- $M_{yeq,Ed}$  e  $M_{zeq,Ed}$  sono i valori equivalenti dei momenti flettenti da considerare nella verifica.

Se il momento flettente varia lungo l'asta si assume, per ogni asse principale di inerzia,

$$M_{eq,Ed} = 1,3 \cdot M_{m,Ed}$$

essendo  $M_{m,Ed}$  il valor medio del momento flettente, con la limitazione

$$0,75 \cdot M_{\max,Ed} \leq M_{eq,Ed} \leq M_{\max,Ed}$$

I coefficienti  $\chi$  dipendono dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale  $\lambda$ , dalla seguente formula

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

dove  $\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$ ,  $\alpha$  è il fattore di imperfezione, ricavato dalla Tab 4.2.VI, e la snellezza adimensionale  $\bar{\lambda}$  è pari a

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} \text{ per le sezioni di classe 1, 2 e 3, e a}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_{yk}}{N_{cr}}} \text{ per le sezioni di classe 4.}$$

#### 9.1.1.1.5 Verifica a instabilità locale

È stata prevista una ulteriore verifica di instabilità locale per aste compresse composte.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	55 di 95

Aste compresse composte a sezione costante realizzate da due elementi (correnti) collegati tra loro con tralicci possono essere verificate con il metodo di seguito proposto, a condizione che i campi individuati dalle aste di parete del traliccio siano uguali e non meno di tre.

I correnti dell'asta composta sono a parete piena collegati con tralicci.

Nel seguito si fa riferimento ad aste di lunghezza L, incernierate agli estremi nel piano della calastrellatura o della tralicciatura, equiparando la deformabilità della calastrellatura o della tralicciatura alla deformabilità a taglio di un'asta a parete piena equivalente.

Le imperfezioni di montaggio possono essere schematizzate considerando un difetto di rettilineità:

$$e = L/500$$

Oltre alle verifiche di stabilità dell'asta composta si devono eseguire anche le verifiche di stabilità e resistenza dei correnti e delle aste di parete, come specificato nel seguito.

Per un elemento costituito da due correnti a parete piena, la forza normale di progetto nei correnti può essere ricavata da:

$$N_{C,Ed} = 0,5 \cdot N_{Ed} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_C}{2 \cdot J_{eff}}$$

dove:

- $N_{Ed}$  è la forza normale di progetto dell'asta composta;
- $h_0$  è la distanza tra i baricentri dei correnti;
- $A_C$  è l'area della sezione di ciascun corrente;
- $J_{eff}$  è il momento di inerzia efficace della sezione dell'elemento composto;
- $M_{Ed}$  è il momento di progetto dato da

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0 + M_{Ed}^I}{1 - N_{Ed} / N_{cr} - N_{Ed} / S_V}$$

in cui:

- $N_{cr} = \frac{\pi^2 E J_{eff}}{L^2}$  è il carico critico euleriano dell'asta composta;
- $E_{dM}$  è il valore del massimo momento flettente agente in mezzzeria dell'asta composta;
- $S_V$  è la rigidezza a taglio equivalente della tralicciatura o della calastrellatura.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	56 di 95

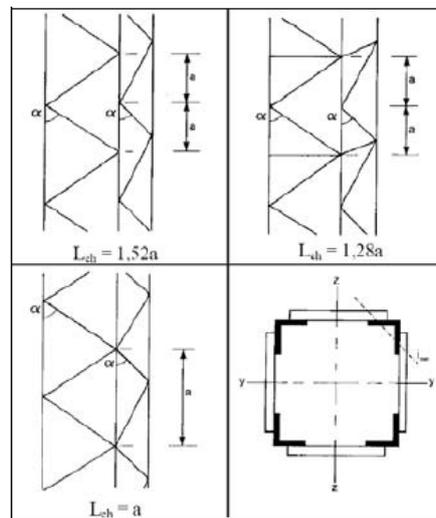
La verifica dei calastrelli e degli elementi di parete dei tralacci nei campi estremi può essere eseguita considerando la forza di taglio nell'asta composta

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L}$$

Devono essere verificati nei riguardi dei fenomeni di instabilità sia i diagonali sia i correnti. La verifica si esegue controllando che:

$$\frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Nel caso dei correnti,  $N_{c,Ed}$  è la forza normale di progetto, mentre  $N_{b,Rd}$  è il carico critico, determinato in riferimento alla lunghezza di libera inflessione  $L_{ch}$  del corrente. Per correnti ad anima piena si può assumere  $L_{ch}=a$ , per correnti tralicciati  $L_{ch}$  dipende dallo schema adottato ed è indicato in figura.



La rigidezza equivalente dell'asta composta tralicciata può essere assunta uguale a

$$J_{eff} = 0,5 \cdot h_0^2 \cdot A_C$$

mentre la rigidezza equivalente a taglio della tralicciatura,  $S_v$ , può essere ricavata, in funzione dello schema di tralicciatura adottato, dalla Tabella C4.2.II.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	57 di 95

**Tabella C4.2.II Rigidezza a taglio equivalenti di aste tralicciate o calastrellate**

Schema dell'asta composta (v. Figura C4.2.6)	(1)	(2)	(3)	(4)
$S_V$ – rigidezza a taglio	$\frac{n \cdot EA_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3}$	$\frac{n \cdot EA_d \cdot a \cdot h_0^2}{2 \cdot d^3}$	$\frac{n \cdot EA_d \cdot a \cdot h_0^2}{d^3 \cdot \left[ 1 + \frac{A_d \cdot h_0^3}{A_v \cdot d^3} \right]}$	$\frac{24EJ_c}{a^2 \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot J_c \cdot h_0}{n \cdot J_v \cdot a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 E J_c}{a^2}$
<p><math>A_d</math>: area dei diagonali, <math>A_v</math>: area dei calastrelli, <math>J_v</math>: momento di inerzia del calastrello, <math>A_c</math>: area di un corrente, n: numero di piani di tralicciatura o calastrellatura</p>				

**9.1.1.2.-..Criteri di verifica degli ancoranti metallici**

Le verifiche dell'ancoraggio metallico post-installato costituito da barre filettate saranno condotte in base a quanto riportato nella Normativa tecnica valida per ancoranti singoli e per gruppi di ancoranti.

In particolare, si fa riferimento alle Norme:

- **UNI EN 1993-1-8:2005 [4] – Eurocodice 3 –** Progettazione delle strutture in acciaio–Parte1-8: Progettazione dei collegamenti;
- **ETAG No. 001 - Allegato C [Agosto 2010]:** “Linea guida per il benessere tecnico europeo di ancoranti metallici da utilizzare nel calcestruzzo - Progettazione di ancoranti”;

Si rimanda a tale Normativa per la descrizione delle specifiche voci non definite nel presente documento.

Occorre dimostrare che la relazione  $Rd > Sd$  sia soddisfatta per tutte le direzioni di carico (trazione, taglio) così come tutti i tipi di cedimento (rottura dell'acciaio, sfilamento e rottura del calcestruzzo, ecc). Inoltre, nel caso di compresenza di azioni taglianti e di trazione, è necessario verificare la resistenza a carico combinato. Nel caso in cui uno o più meccanismi sugli inghisaggi non fossero verificati, questi verranno trasferiti ed affidati ad armature aggiuntive, che dovranno essere presenti all'interno dei coni di rottura.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC000006	B	58 di 95

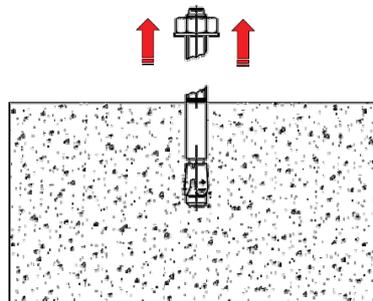
**9.1.1.2.1 Resistenza ai carichi di trazione**

occorre considerare:

	Single fastener	Fastener group <sup>1)</sup>	
		most loaded fastener	fastener group
1 Steel failure	$N_{Ed} \leq N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms}$	$N_{Ed}^h \leq N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms,s}$	
2 Combined pull-out and concrete failure	$N_{Ed} \leq N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$
3 Concrete cone failure	$N_{Ed} \leq N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$
4 Splitting failure	$N_{Ed} \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$		$N_{Ed}^g \leq N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$

1) Verification is performed only for the fasteners of a group loaded in tension.

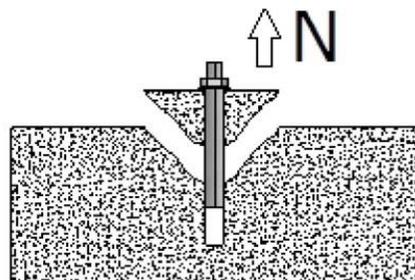
**9.1.1.2.1.1 Rottura dell'acciaio**



Rottura lato acciaio dell'ancorante

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} \quad [N]$$

**9.1.1.2.1.2 Rottura combinata sfilamento e rottura conica**



**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	59 di 95

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^0} \cdot \Psi_{s,Np} \cdot \Psi_{g,Np} \cdot \Psi_{ec,Np} \cdot \Psi_{re,Np} \quad [N]$$

dove:

valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante:

$$N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \quad [N]$$

$\tau_{Rk}$  [N/mm<sup>2</sup>];  $h_{ef}$  and  $d$  [mm]

effetto geometrico dell'interasse e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica:

$A_{p,N}^0$  = influence area of an individual anchor with large spacing and edge distance at the concrete surface, idealizing the concrete cone as a pyramid with a base length equal to  $s_{cr,Np}$  (see Figure 5.1).

$$= s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np} \quad (5.2b)$$

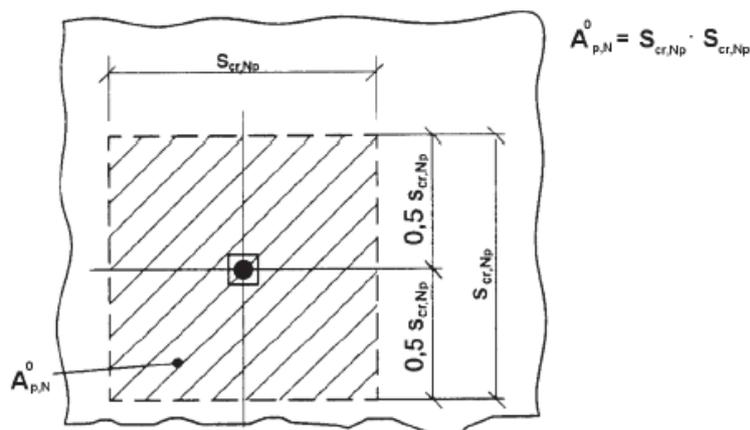
$A_{p,N}$  = actual area; it is limited by overlapping areas of adjoining anchors ( $s \leq s_{cr,Np}$ ) as well as by edges of the concrete member ( $c \leq c_{cr,Np}$ ). Examples for the calculation of  $A_{p,N}$  are given in Figure 5.2.

with

$$s_{cr,Np} = 20 \cdot d \cdot \left( \frac{\tau_{Rk,ucr}}{7.5} \right)^{0.5} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad [mm] \quad (5.2c)$$

with  $\tau_{Rk,ucr}$  for C20/25 [N/mm<sup>2</sup>];  $d$  [mm]

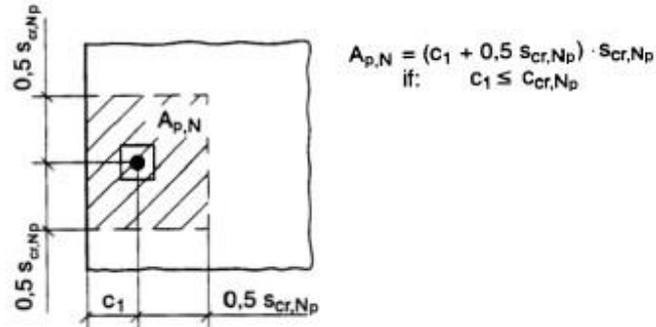
$$c_{cr,Np} = \frac{s_{cr,Np}}{2} \quad [mm] \quad (5.2d)$$



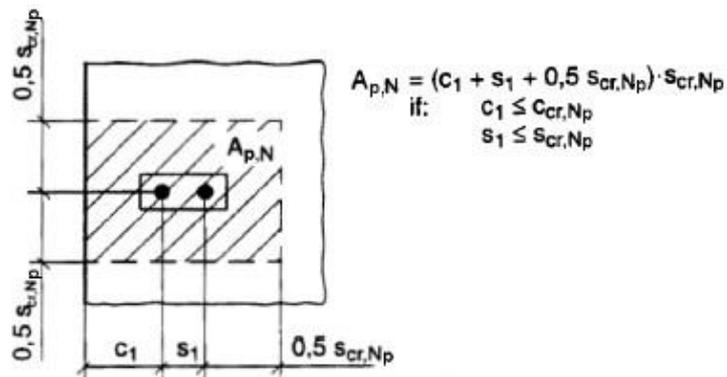
**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

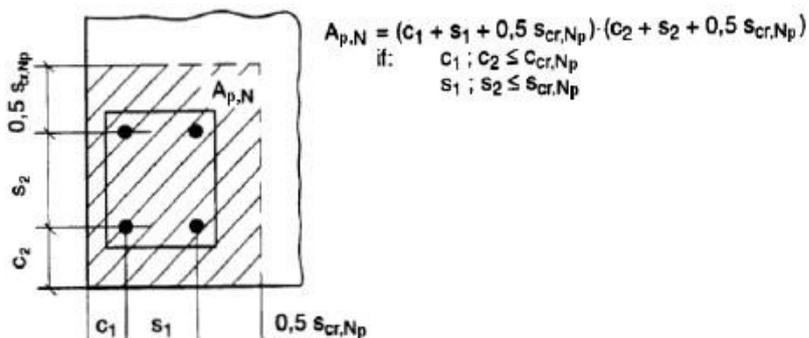
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	60 di 95



a) individual anchor at the edge of concrete member



b) group of two anchors at the edge of concrete member



c) group of four anchors at a corner of concrete member

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	61 di 95

coefficienti:

$$\Psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,Np}} \leq 1$$

$$\Psi_{\varepsilon,Np} = \Psi_{\varepsilon,Np}^0 - \left( \frac{s}{s_{cr,Np}} \right)^{0.5} \cdot (\Psi_{\varepsilon,Np}^0 - 1) \geq 1,0 \quad (5.2f)$$

s = spacing, in case of anchor groups with  $s_1 \neq s_2$  the mean value of all spacings  $s_1$  and  $s_2$  should be taken  
with

$$\Psi_{\varepsilon,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot \left( \frac{d \cdot \tau_{Rk}}{k \cdot \sqrt{h_{ef}} \cdot f_{ck,cube}} \right)^{1.5} \geq 1,0 \quad (5.2g)$$

n = number of anchors in a group

$\tau_{Rk}$  and  $f_{ck,cube}$  [N/mm<sup>2</sup>];  $h_{ef}$  and d [mm]

$\tau_{Rk}$  characteristic bond resistance, depending on the concrete strength class is taken from the relevant ETA:

k = 2.3 (for applications in cracked concrete)

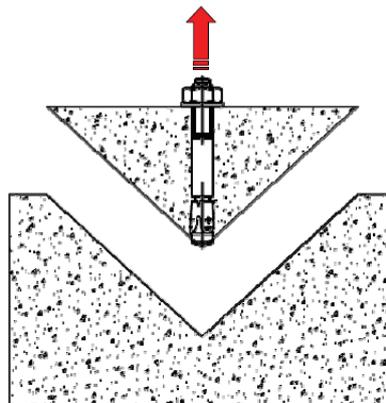
k = 3.2 (for applications in non-cracked concrete)

$$\Psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2e_N/s_{cr,Np}} \leq 1$$

$$\Psi_{re,Np} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$$

$h_{ef}$  [mm]

### 9.1.1.2.1.3 Rottura conica del calcestruzzo



Rottura conica del calcestruzzo

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot [N]$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	62 di 95

valore iniziale della resistenza caratteristica di un ancorante:

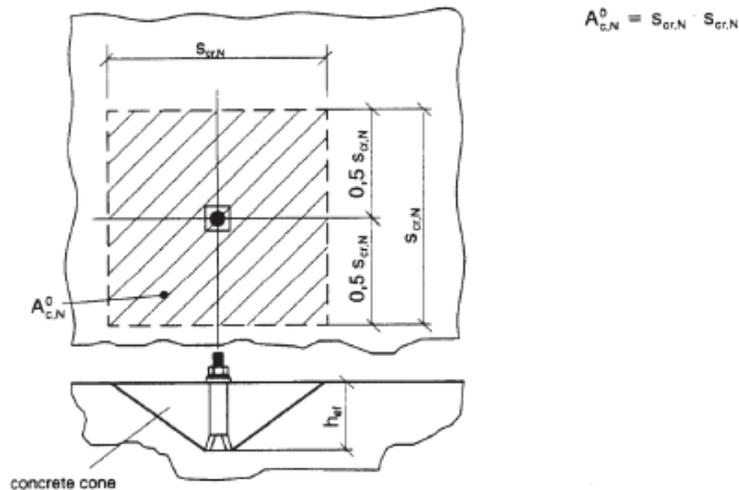
$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1.5} \quad [N]$$

$f_{ck,cube}$  [N/mm<sup>2</sup>];  $h_{ef}$  [mm]

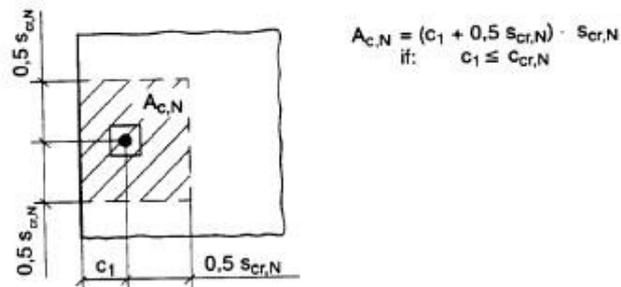
$k_1 = 7.2$  for applications in cracked concrete

$k_1 = 10.1$  for applications in non-cracked concrete

effetto geometrico dell'interasse e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica:



Idealized concrete cone and area  $A_{c,N}^0$  of concrete cone of an individual anchor

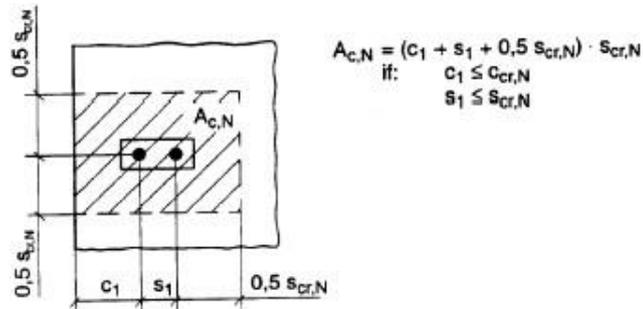


a) individual anchor at the edge of concrete member

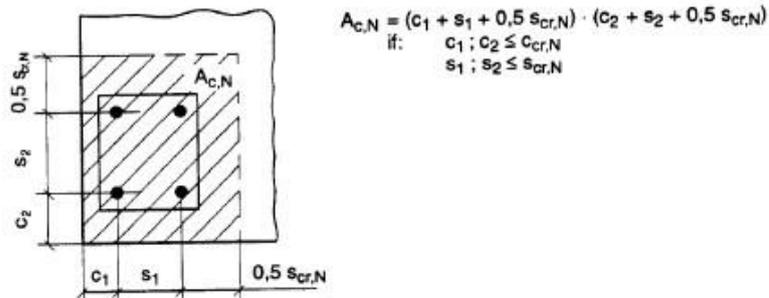
**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	63 di 95



b) group of two anchors at the edge of concrete member



c) group of four anchors at a corner of concrete member

Examples of actual areas  $A_{c,N}$  of the idealized concrete cones for different arrangements of anchors in the case of axial tension load

*coefficienti:*

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1$$

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$$

$h_{ef}$  [mm]

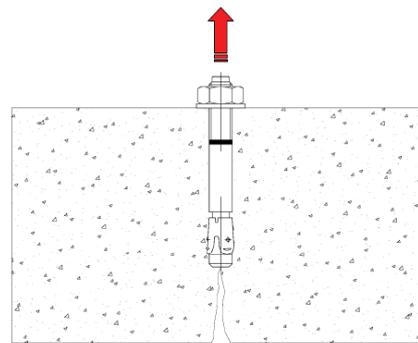
$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr,N}} \leq 1$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	64 di 95

9.1.1.2.1.4 Rottura per frantumazione superficiale del calcestruzzo sotto carico (splitting)



Rottura per splitting

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \Psi_{s,N} \cdot \Psi_{re,N} \cdot \Psi_{ec,N} \cdot \Psi_{h,sp}$$

con i coefficienti visti in precedenza tranne:

$\Psi_{h,sp}$  = factor to account for the influence of the actual member depth, h, on the splitting resistance for anchors according to current experience

$$= \left( \frac{h}{h_{mn}} \right)^{2/3} \quad (5.4a)$$

with

$$1 \leq \Psi_{h,sp} \leq \left( \frac{2 \cdot h_{ef}}{h_{mn}} \right)^{2/3} \quad (5.4b)$$

9.1.1.2.2 Resistenza ai carichi di taglio

occorre considerare:

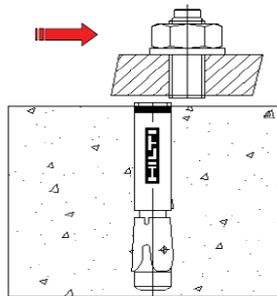
	Single fastener	Fastener groups	
		most loaded fastener	fastener group
<b>Steel failure with or without lever arm</b>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	$V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$	
<b>Concrete edge failure</b>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$
<b>Concrete pry-out failure</b>	$V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$		$V_{Ed}^g \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	65 di 95

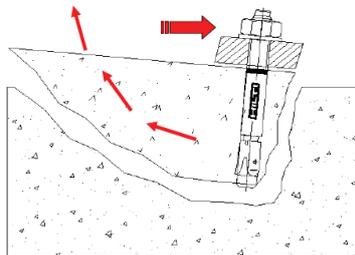
9.1.1.2.2.1 Rottura per taglio dell'acciaio, senza braccio di leva



Rottura lato acciaio  
dell'ancorante

$$V_{Rk,s} = 0.5 \cdot A_s \cdot f_{uk} \quad [N]$$

9.1.1.2.2.2 Rottura per strappo del calcestruzzo (pryout)

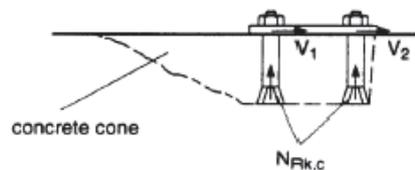


Rottura per Pryout del calcestruzzo

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p}$$

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c}$$

where  $k$  = factor to be taken from the relevant ETA

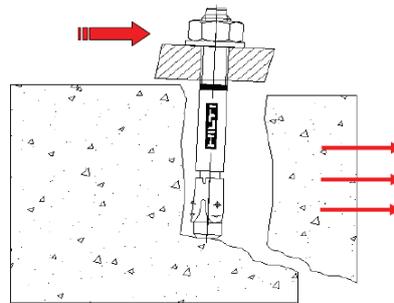


**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	66 di 95

9.1.1.2.2.3 Rottura del bordo del calcestruzzo



Rottura del bordo di  
calcestruzzo

Concrete edge failure need not to be verified for groups with not more than 4 anchors when the edge distance in all directions is  $c > 10 h_{ef}$  and  $c > 60 d$ .

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,y}}{A_{c,y}^0} \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{\alpha,v} \cdot \psi_{ec,v} \cdot \psi_{re,v} \quad [N]$$

dove:

$$V_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot d^\alpha \cdot h_{ef}^\beta \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1.5} \quad [N]$$

$d, h_{ef}, c_1$  [mm];  $f_{ck,cube}$  [N/mm<sup>2</sup>]

with

$k_1 = 1.7$  for applications in cracked concrete

$k_1 = 2.4$  for applications in non-cracked concrete

$$\alpha = 0.1 \cdot \left( \frac{h_{ef}}{c_1} \right)^{0.5}$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left( \frac{d}{c_1} \right)^{0.2}$$

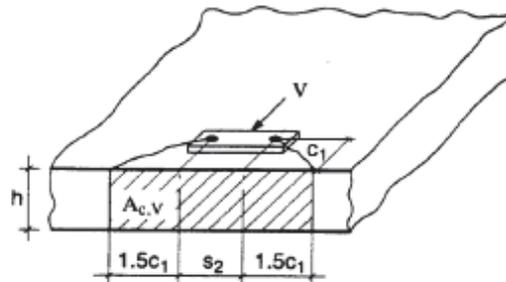
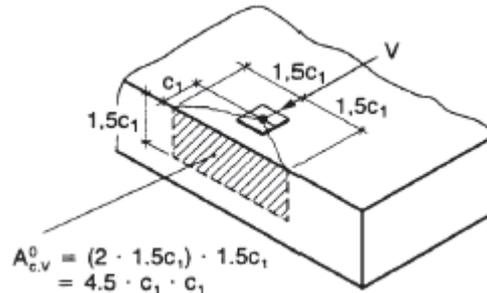
*effetto geometrico dell'interasse e della distanza dal bordo sulla resistenza caratteristica:*

Examples of actual areas of the idealized concrete cones for different anchor arrangements under shear loading

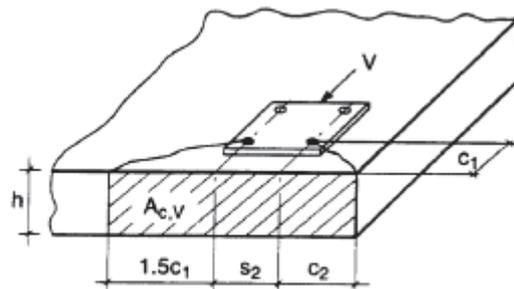
**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	67 di 95



b) group of anchors at an edge in a thin concrete member



c) group of anchors at a corner in a thin concrete member

where:

$A_{c,v}^0$  = area of concrete cone of an individual anchor at the lateral concrete surface not affected by edges parallel to the assumed loading direction, member thickness or adjacent anchors, assuming the shape of the fracture area as a half pyramid with a height equal to  $c_1$  and a base-length of  $1.5 c_1$  and  $3 c_1$  (Figure 5.6).

$$= 4,5 c_1^2 \quad (5.8d)$$

$A_{c,v}$  = actual area of concrete cone of anchorage at the lateral concrete surface. It is limited by the overlapping concrete cones of adjoining anchors ( $s \leq 3 c_1$ ) as well as by edges parallel to the assumed loading direction ( $c_2 \leq 1.5 c_1$ ) and by member thickness ( $h \leq 1.5 c_1$ ). Examples for calculation of  $A_{c,v}$  are given in Figure 5.7.

*coefficienti:*

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5 c_1} \leq 1$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

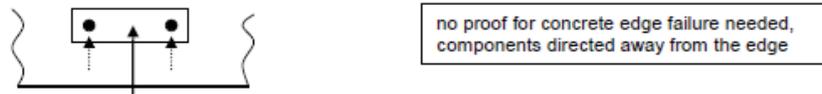
LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	68 di 95

$$\psi_{h,v} = \left( \frac{1.5c_1}{h} \right)^{1/2} \geq 1$$

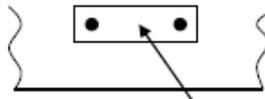
$$\psi_{\alpha,v} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_v)^2 + \left( \frac{\sin \alpha_v}{2.5} \right)^2}} \geq 1.0$$

The maximum value  $\alpha_v$  to be inserted in equation (5.8g) is limited to 90°.

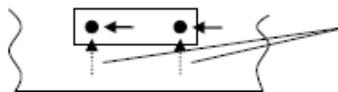


a) group of anchors at an edge loaded by  $V_{sd}$  with an angle  $\alpha_v = 180^\circ$

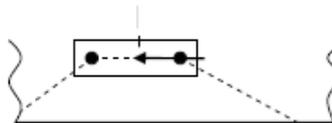
action



load on each anchor



load on anchor group for calculation



b) group of anchors at an edge loaded by  $V_{sd}$  with an angle  $90^\circ < \alpha_v < 180^\circ$

$$\psi_{ec,v} = \frac{1}{1 + 2e_y / (3c_1)} \leq 1$$

The factor  $\psi_{re,v}$  takes account of the effect of the type of reinforcement used in cracked concrete.

$\psi_{re,v} = 1.0$  anchorage in non-cracked concrete and anchorage in cracked concrete without edge reinforcement

$\psi_{re,v} = 1.2$  anchorage in cracked concrete with straight edge reinforcement ( $\geq \varnothing 12$  mm)

$\psi_{re,v} = 1.4$  anchorage in cracked concrete with edge reinforcement and closely spaced stirrups ( $a \leq 100$  mm)

### 9.1.1.2.3 Resistenza ai carichi combinati di trazione e taglio

In caso di combinazione dei carichi di trazione e di taglio, cioè con carichi inclinati di un certo angolo rispetto all'asse dell'ancoraggio, la verifica di progetto può essere svolta con due metodi differenti di combinazione.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	69 di 95

Secondo il primo metodo, il cui risultato è generalmente a favore di sicurezza, è necessario verificare le condizioni:

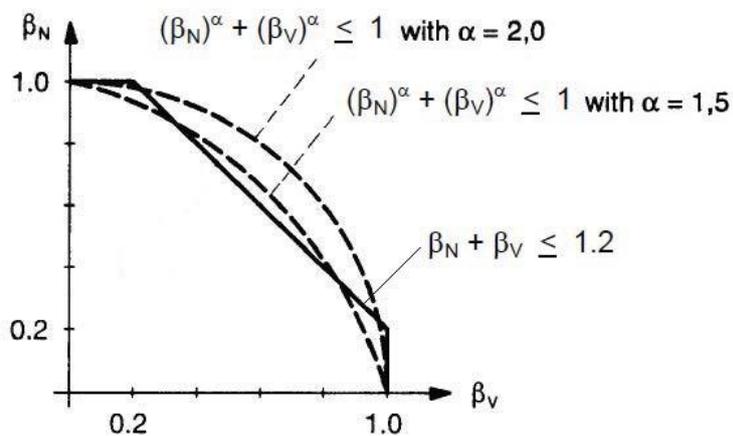
$$\begin{cases} \beta_N \leq 1 \\ \beta_V \leq 1 \\ \beta_N + \beta_V \leq 1.2 \end{cases}$$

Tramite il secondo metodo, è necessario verificare la condizione:

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1$$

In cui  $\alpha$  è pari a 2 per il collasso dell'acciaio (ovvero  $\beta_N$  e  $\beta_V$  sono associati alla crisi lato acciaio) e 1.5 per tutti gli altri tipi di collasso.

In entrambi i metodi,  $\beta_N$  e  $\beta_V$  rappresentano il massimo rapporto tra azione di progetto e resistenza di progetto per carichi a trazione e taglio rispettivamente, ovvero  $\beta_N = N_{Ed}/N_{Rd}$  e  $\beta_V = V_{Ed}/V_{Rd}$ .



**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	70 di 95

## 9.2.-.VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Le verifiche allo stato limite di esercizio saranno effettuate secondo i seguenti criteri:

- stati limite di *deformazione e/o spostamento*, al fine di evitare deformazioni e spostamenti che possano compromettere l'uso efficiente della costruzione e dei suoi contenuti, nonché il suo aspetto estetico.

Negli edifici gli spostamenti laterali alla sommità delle colonne per le combinazioni caratteristiche delle azioni devono generalmente limitarsi ad una frazione dell'altezza della colonna e dell'altezza complessiva dell'edificio da valutarsi in funzione degli effetti sugli elementi portati, della qualità del comfort richiesto alla costruzione, delle eventuali implicazioni di una eccessiva deformabilità sul valore dei carichi agenti.

Nel caso in esame invece, la normativa non contempla verifiche particolari delle deformazioni: di conseguenza l'unica verifica possibile risulta quella che si può effettuare sulle deformazioni per carichi permanenti (pesi propri + sovraccarichi).

Infatti, si rende possibile strapiombare il palo, in modo che per effetto dei soli carichi permanenti, le deformazioni globali della struttura risultino nulle (si considera positivo lo strapiombo diretto in direzione opposta rispetto ai binari).

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	71 di 95

## 10...CRITERI DI CALCOLO E VERIFICA GEOTECNICA

In conformità al D.M. LL.PP. 17 Gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” si sono adottati i criteri per le verifiche ed il controllo della sicurezza geotecnica descritti nei paragrafi che seguono. In generale, si sono assunte le seguenti ipotesi:

- Sono state effettuate due verifiche distinte, in direzione trasversale e longitudinale (rispetto ai binari);
- Terreno presente solo lato binario e interamente scoperto lato esterno per le verifiche in direzione trasversale;
- Terreno presente da entrambi i lati per le verifiche in direzione longitudinale;
- Il terreno è stato considerato presente per tutta l'altezza del plinto, ad esclusione del cordolo sopra il plinto.

Il terreno spingente solo da un lato, vista l'ipotesi di lato libero dall'altro, è stato sempre considerato in condizioni di spinta attiva. La condizione di spinta attiva è stata mantenuta a maggior ragione in condizione sismica, considerando la spinta totale sismica con la formulazione di Mononobe-Okabe. Per le verifiche in direzione longitudinale, è stata usata la stessa formulazione per calcolare il coefficiente di spinta passiva in condizioni sismiche.

Oltre alla spinta in condizioni sismiche, è stata considerata anche l'azione inerziale sul blocco di fondazione pari al peso per il coefficiente  $k_n$ .

Nel calcolo delle spinte è stato considerato nullo l'angolo di attrito terra-muro  $\delta$  sia in condizioni statiche che sismiche.

Nella verifica a scorrimento si è assunto l'angolo di attrito terreno-fondazione pari a  $\delta=\varphi$ .

### 10.1.-.VERIFICA A SCORRIMENTO

La verifica a scorrimento, effettuata secondo entrambe le direzioni trasversale (H) e longitudinale (L) rispetto ai binari, risulta essere soddisfatta se:

$$R_{SCOR} \geq F_{SCOR} \times \gamma_R$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	72 di 95

in cui:

- $R_{SCOR}$ : è la forza che si oppone allo scorrimento sul piano di posa del blocco di fondazione:

$$R_{SCORR,H} = (N + P_{COLONNINO} + P_{BLOCCO}) \times \operatorname{tg} \delta$$

$$R_{SCORR,L} = (N + P_{COLONNINO} + P_{BLOCCO}) \times \operatorname{tg} \delta + S_{TERRENO,PASSIVA,L}$$

- $F_{SCOR}$ : è la sommatoria di tutte le forze che concorrono allo scorrimento sul piano di posa del blocco di fondazione:

$$F_{SCORR,H} = F_H + S_{TERRENO,ATTIVA,H} + S_{BALLAST} + S_{LM71}$$

$$F_{SCORR,L} = F_L + S_{TERRENO,ATTIVA,L}$$

## 10.2.-.VERIFICA A CARICO LIMITE

In accordo con quanto previsto dalle NTC18, la verifica a carico limite verticale risulta essere soddisfatta se:

$$R \leq Q_{lim}$$

In cui  $R$  è la risultante di tutte le forze agenti sul piano di posa della fondazione; mentre  $Q_{lim}$  è il carico limite verticale valutato con la formula trinomia di Terzaghi. Questa fornisce un carico limite a  $m^2$ ,  $q_{lim}$ .

$$q_{lim} = N_q \gamma_1 D + N_c c + N_\gamma \gamma_2 B/2$$

in cui:

- $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$ , sono i coefficienti di carico limite definiti in funzione dell'angolo di attrito interno del terreno;
- $\gamma_1$ : peso per unità di volume del terreno al di sopra del piano di posa della fondazione (posto pari al peso per unità di volume del terreno in esame, tenendo in conto della falda, come definito nel §4.3,  $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ );
- $D$ : è la profondità del piano di posa (posta pari all'altezza del blocco  $H = 2,5 \text{ m}$ );
- $c$ : coesione del terreno (pari a zero per il terreno in esame);
- $\gamma_2$ : peso per unità di volume del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione (posto pari al peso per unità di volume del terreno in esame, tenendo in conto della falda, come definito nel §4.3,  $\gamma' = 10 \text{ kN/m}^3$ );

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	73 di 95

- B: larghezza della fondazione (posta pari alla dimensione nella direzione x, LX= 2,5m).

La formulazione del carico limite così definita sarà necessario correggerla in funzione della forma della fondazione, della eccentricità del carico, della inclinazione del carico e della presenza della falda. A tal proposito, nelle verifiche che verranno esposte di seguito, si esplicheranno i coefficienti correttivi utilizzati nel caso in esame. Di seguito si espongono invece le formulazioni utilizzate per la valutazione di tali coefficienti.

Forma della fondazione

Forma della fondazione	Rettangolo di lati B ed L ( B < L )	Quadrato , Cerchio ( B = L )
$\zeta_q$	$1 + \frac{B}{L} \cdot \tan(\varphi)$	$1 + \tan(\varphi)$
$\zeta_c$	$1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{N_q}{N_c}$
$\zeta_y$	$1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L}$	0,6

Eccentricità del carico

Se la risultante dei carichi applicati in fondazione non passa per il baricentro dell'area di impronta della fondazione stessa, si tiene conto di tale eccentricità considerando una fondazione di dimensioni ridotte.

$$Q_{lim} = q_{ult} B' L'$$

con  $B' = B - 2 e_B$   
 $L' = L - 2 e_L$

Inclinazione del carico

Forma della fondazione	Incoerente	Coesivo	Dotato di attrito e coesione
$\xi_q$	$[1 - \tan(\delta)]^m$	1	$\left[1 - \frac{q_H}{q_v + c \cdot \cotan(\varphi)}\right]^m$
$\xi_c$	-	$1 - \frac{m \cdot q_H}{N_c \cdot c}$	$\xi_q - \frac{1 - \xi_q}{N_c \cdot \tan(\varphi)}$
$\xi_y$	$[1 - \tan(\delta)]^{(m+1)}$	-	$\left[1 - \frac{q_H}{q_v + c \cdot \cotan(\varphi)}\right]^{(m+1)}$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

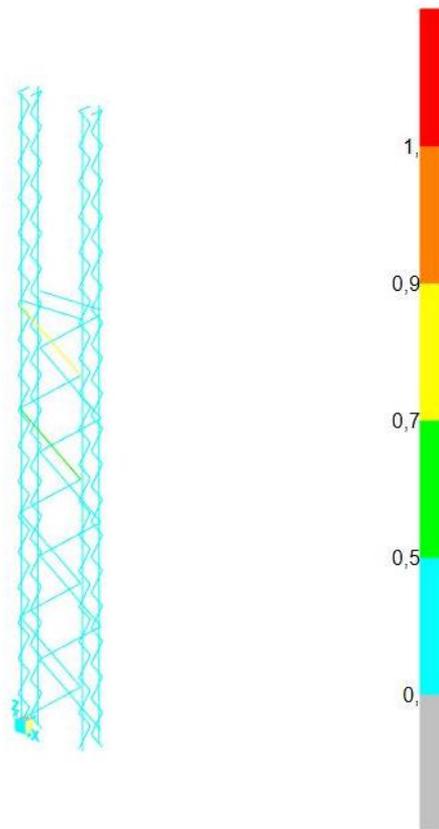
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	74 di 95

## 11...VERIFICA STRUTTURA METALLICA

In rispetto alla vigente normativa per le verifiche si è fatto ricorso al c.d. NTC 18.

Dall'analisi dei tabulati emerge che, con riferimento alla geometria della struttura, ai vincoli esterni ed interni, alla sezione dei profili, ai materiali utilizzati ed ai carichi agenti, i sostegni, nel loro complesso, raggiungono aliquote accettabili della resistenza massima.

Si riporta di seguito un'immagine riassuntiva delle verifiche effettuate



**Figura 35 – Verifiche strutturali**

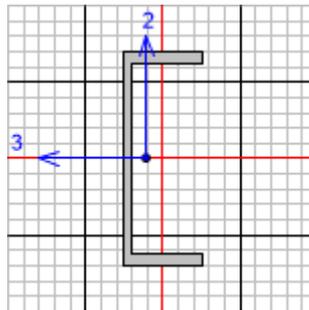
Dalle verifiche degli elementi strutturali componenti il sostegno, si riportano i dettagli delle verifiche effettuate per i tre elementi monodimensionali per i quali le stesse risultano meno soddisfatte, una per ogni tipologia di profilato presente

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC000006	B	75 di 95

**11.1.-..UPN220**



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : 2	X Mid: 1,21	Combo: STR2_B	Design Type: Column
Length: 0,148	Y Mid: 0,357	Shape: UPN220	Frame Type: Non Dissipative
Loc : 0,	Z Mid: 5,926	Class: Class 1	Rolled : No

Interaction=Method B	MultiResponse=Envelopes	P-Delta Done? No
Consider Torsion? No	Ignore Special EQ Load? No	D/P Plug Welded?
Ignore Seismic Code? No		

Yes

GammaM0=1,05	GammaM1=1,05	GammaM2=1,25		
q0=1,	Omega=1,	GammaRG=1,1		
An/Ag=1,	RLLF=1,	PLLF=0,75	D/C Lim=0,95	
Aeff=0,004	eNy=0,	eNz=0,		
A=0,004	Iyy=2,781E-05	iyy=0,085	Wel,yy=2,528E-04	Weff,yy=2,528E-04
It=0,	Izz=2,267E-06	izz=0,024	Wel,zz=3,989E-05	Weff,zz=3,989E-05
Iw=0,	Iyz=0,	h=0,22	Wpl,yy=3,004E-04	Av,y=0,002
E=210000000,	fy=355000,	fu=510000,	Wpl,zz=7,214E-05	Av,z=0,002

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,	-169,857	-2,258	0,715	8,631	-6,369	-0,173

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio: 0,496 = 0,411 + 0,033 + 0,052 < 0,95 OK  

$$= \frac{Ned}{(\chi_z N_{Rk}/\Gamma_{M1})} + k_{zy} \frac{(M_y, Ed+NEd eNy)}{(\chi_{LT} M_y, Rk/\Gamma_{M1})} + k_{zz} \frac{(M_z, Ed+NEd eNz)}{(M_z, Rk/\Gamma_{M1})}$$
 (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-169,857	1295,961	1295,961

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	1295,961	1407,524	1629,152	1629,152	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49 2631724,895	0,023	0,457	1,	1295,961
MajorB (y-y)	c	0,49 2631724,895	0,023	0,457	1,	1295,961
Minor (z-z)	c	0,49 615,848	1,486	1,92	0,319	413,363
MinorB (z-z)	c	0,49 214919,908	0,08	0,474	1,	1295,961

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO - PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
- RELAZIONE DI CALCOLO**

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	76 di 95

Torsional TF c 0,49 1629,152 0,914 1,093 0,591 766,3

**MOMENT DESIGN**

	Med Moment	Med, span Moment	Mm, Ed Moment	Meq, Ed Moment
Major (y-y)	-2,258	-3,536	-2,897	-3,025
Minor (z-z)	0,715	1,658	1,187	1,281

	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	101,576	101,576	101,576	72,268
Minor (z-z)	24,391	24,391	24,391	

	Curve d	AlphaLT 0,76	LambdaBarLT 0,598	PhiLT 0,83	ChiLT 0,711	Iw 0,	Mcr 298,353
LTB							

Factors	kw 1,	Psi 1,202	C2 0,	C3 0,994	zj 0,
	za 0,11	zs 0,	zg 0,11	zz 0,	

Factors	kyy 0,836	kyz 0,456	kzy 0,68	kzz 0,76

**SHEAR DESIGN**

	Ved Force	Ted Torsion	Vc, Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	8,631	0,173	342,575	0,025	OK
Minor (y)	6,369	0,173	405,649	0,016	OK

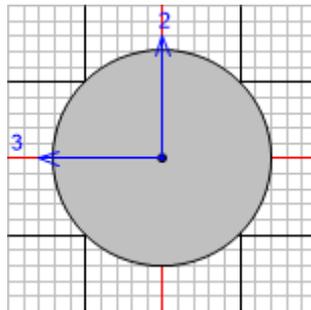
Reduction	Vpl, Rd 342,575	Eta 1,	LambdabarW 0,219

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	77 di 95

**11.2.-.TRALICCIO Ø24**



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : 400 X Mid: 1,32 Combo: STR2\_B Design Type: Brace  
Length: 0,358 Y Mid: 0,179 Shape: TRALICCIO LSU Frame Type: Non Dissipative  
Loc : 0,358 Z Mid: 7,315 Class: Class 2 Rolled : No

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes P-Delta Done? No  
Consider Torsion? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded?  
Ignore Seismic Code? No Yes

GammaM0=1,05 GammaM1=1,05 GammaM2=1,25  
q0=1, Omega=1, GammaRG=1,1  
An/Ag=1, RLLF=1, PLLF=0,75 D/C Lim=0,95

Aeff=4,524E-04 eNy=0, eNz=0,  
A=4,524E-04 Iyy=0, iyy=0,006 Wel,yy=1,357E-06 Weff,yy=1,357E-06  
It=0, Izz=0, izz=0,006 Wel,zz=1,357E-06 Weff,zz=1,357E-06  
Iw=0, Iyz=0, h=0,024 Wpl,yy=2,304E-06 Av,y=4,072E-04  
E=210000000, fy=355000, fu=510000, Wpl,zz=2,304E-06 Av,z=4,072E-04

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,358	19,805	-0,006	0,172	-4,020E-04	-0,718	-0,037

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation EC3 6.2.1(7))

D/C Ratio:  $0,35 = 0,129 + \sqrt{[(0,007)^2 + (0,221)^2]} < 0,95$  OK  
=  $(N_{Ed}/N_{Rd}) + \sqrt{[(M_{y,Ed}/M_{y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{z,Rd})^2]}$  (EC3)

6.2.1(7))

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity
Axial	19,805	152,951	152,951

	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	152,951	166,117	36539,139	262,977	1,

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	c	0,49	262,977	0,781	0,948	103,057
MajorB (y-y)	c	0,49	262,977	0,781	0,948	103,057
Minor (z-z)	c	0,49	262,977	0,781	0,948	103,057
MinorB (z-z)	c	0,49	262,977	0,781	0,948	103,057

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO - PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
- RELAZIONE DI CALCOLO**

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	78 di 95

Torsional TF c 0,49 262,977 0,781 0,948 0,674 103,057

**MOMENT DESIGN**

	Med Moment	Med, span Moment	Mm, Ed Moment	Meq, Ed Moment
Major (y-y)	-0,006	-0,008	-0,007	-0,008
Minor (z-z)	0,172	0,172	0,043	0,069

	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	0,779	0,779	0,779	0,779
Minor (z-z)	0,779	0,779	0,779	

	Curve AlphaLT d	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	0,76	0,17	0,503	1,	0,	28,18

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,132	0,459	0,525	
	za	zs	zg	zz	
	0,012	0,	0,012	0,	0,

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,845	0,241	0,507	0,402

**SHEAR DESIGN**

	Ved Force	Ted Torsion	Vc, Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	4,020E-04	0,037	79,475	5,058E-06	OK
Minor (y)	0,718	0,037	79,475	0,009	OK

Reduction	Vpl, Rd	Eta	LambdabarW
	79,475	1,	0,

**BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS**

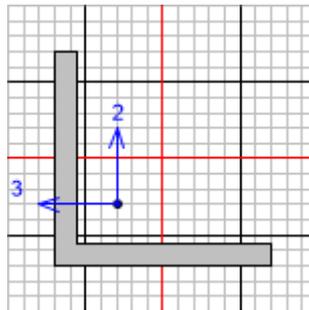
Axial	P Comp	P Tens
	0,	19,805

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO - PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
- RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	79 di 95

**11.3.-L60x60x6**



Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KN, m, C

Frame : 520	X Mid: 0,66	Combo: STR4_B	Design Type: Brace
Length: 1,348	Y Mid: -0,039	Shape: L 60x60x6 mm	Frame Type: Non Dissipative
Loc : 0,674	Z Mid: 6,05	Class: Class 4	Rolled : No

Interaction=Method B	MultiResponse=Envelopes	P-Delta Done? No
Consider Torsion? No	Ignore Special EQ Load? No	D/P Plug Welded?
Ignore Seismic Code? No		

Yes

GammaM0=1,05	GammaM1=1,05	GammaM2=1,25		
q0=1,	Omega=1,	GammaRG=1,1		
An/Ag=1,	RLLF=1,	PLLF=0,75	D/C Lim=0,95	
Aeff=6,840E-04	eNy=0,	eNz=0,		
A=6,840E-04	Iyy=0,	iyy=0,018	Wel,yy=5,452E-06	Weff,yy=5,452E-06
It=0,	Izz=0,	izz=0,018	Wel,zz=5,452E-06	Weff,zz=5,452E-06
Iw=0,	Iyz=0,	h=0,06	Wpl,yy=9,823E-06	Av,y=3,600E-04
E=210000000,	fy=355000,	fu=510000,	Wpl,zz=9,823E-06	Av,z=3,600E-04
Iyz=0,	Imax=0,	imax=0,023	Wel,zz,maj=9,215E-06	
Rot= 45, deg	Imin=0,	imin=0,012	Wel,zz,min=3,910E-06	

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
0,674	-17,434	-0,04	-0,025	0,924	0,41	-0,002

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)

D/C Ratio:  $0,781 = 0,219 + 0,484 + 0,077 < 0,95$  OK  
 $= \frac{Ned}{(\chi_z NRk / \Gamma_{M1})} + k_{zy} \frac{(My, Ed + NED eNy)}{(\chi_{LT} My, Rk / \Gamma_{M1})} + k_{zz} \frac{(Mz, Ed + NED eNz)}{(Mz, Rk / \Gamma_{M1})}$  (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-17,434	231,257	231,257			
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	231,257	251,165	589,172	303,465	1,	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi
Major (y-y)	b	0,34	423,336	0,757	0,882	0,75
						Nb,Rd
						173,527

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	80 di 95

MajorB (y-y)	b	0,34	423,336	0,757	0,882	0,75	173,527
Minor (z-z)	b	0,34	108,463	1,496	1,84	0,344	79,465
MinorB (z-z)	b	0,34	108,463	1,496	1,84	0,344	79,465
Torsional TF	b	0,34	303,465	0,895	1,018	0,665	153,718

**MOMENT DESIGN**

	Med Moment	Med, span Moment	Mm, Ed Moment	Meq, Ed Moment
Major (y-y)	-0,04	-0,683	-0,05	-0,512
Minor (z-z)	-0,025	-0,314	-0,031	-0,235

	Mc, Rd Capacity	Mv, Rd Capacity	Mn, Rd Capacity	Mb, Rd Capacity
Major (y-y)	1,843	1,843	1,843	1,307
Minor (z-z)	1,843	1,843	1,843	

LTB	Curve d	AlphaLT 0,76	LambdaBarLT 0,601	PhiLT 0,833	ChiLT 0,709	Iw 0,	Mcr 5,354
-----	------------	-----------------	----------------------	----------------	----------------	----------	--------------

\*\*\*Warning: The equation to calculate Mcr is not applicable to Angle section\*\*\*  
\*\*\*Please be aware of the assumptions made by the program\*\*\*

Factors	kw	Psi	C2	C3	zj
	1,	1,132	0,459	0,525	
	za	zs	zg	zz	
	0,043	-0,014	0,057	0,	-0,038

Factors	kyy	kyz	kzy	kzz
	0,418	0,453	0,927	0,453

**SHEAR DESIGN**

	Ved Force	Ted Torsion	Vc, Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	0,924	0,002	70,272	0,013	OK
Minor (y)	0,41	0,002	70,272	0,006	OK

Reduction	Vpl, Rd	Eta	LambdaBarW
	70,272	1,	0,

**11.4.-.VERIFICA DI COMPATIBILITÀ DEGLI SPOSTAMENTI**

Il valore dello strapiombo ( $s_t$ ) deve essere uguale ed opposto a quello della freccia che le sollecitazioni trasversali permanenti generano sul sostegno ad una determinata quota di riferimento dalla base del palo.

Come quota di riferimento è considerata quella della mensola ( $H_{MEN}$ ), per cui il valore dello strapiombo viene calcolato a tale altezza.

<b>Strap. [cm]</b>
------------------------

0,30
------

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	81 di 95

**11.5.-.VERIFICA TIRAFONDI**

La verifica all'estrazione dei tirafondi di collegamento tra il palo 2LSU22-TN e il plinto di fondazione sono state effettuate con un foglio di calcolo, a tale scopo verificato e validato, secondo le indicazioni della normativa vigente UNI EN 1993-1-8.

Le verifiche strutturali delle barre di acciaio costituenti i tirafondi sono state effettuate ai sensi della Norma NTC 2018 con i criteri classici della Scienza delle Costruzioni.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	82 di 95

**11.5.1.-..Verifica all'estrazione**

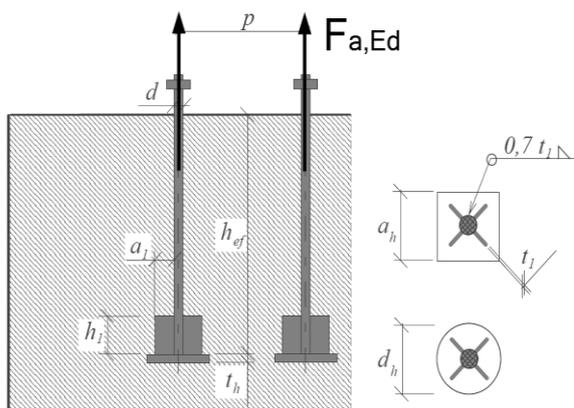
I carichi di verifica sono quelli più gravosi evidenziati in rosso nella seguente tabella:

REAZIONI ALLA BASE DEL SOSTEGNO PER LE VERIFICHE DI TIPO STRUTTURALI								
Nodo	Combinazione	StepType	F <sub>L</sub> - Long	F <sub>H</sub> - Trasv	N - Vert	M <sub>L</sub> - Long	M <sub>H</sub> - Trasv	M <sub>torcente</sub>
		Testo	KN	KN	KN	KNm	KNm	KNm
702	STR1_A		-15,53	-2,75	30,25	59,30	-99,07	-1,51
702	STR2_A		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR3_A		-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82
702	STR2_B		-15,53	-7,09	38,02	97,61	-102,02	-1,52
702	STR3_B		-15,53	-9,99	34,13	101,96	-100,54	-1,52
702	STR4_B		-15,53	-18,01	30,25	138,64	-99,07	-4,58
702	STR5_B		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR6_B		-18,46	-2,75	30,25	59,30	-113,38	-1,16
702	STR8_B		-15,53	-13,43	30,25	114,84	-99,07	-3,66
702	STR1_C		-15,53	-2,75	30,25	59,30	-99,07	-1,51
702	STR2_C		-15,53	-14,46	30,25	118,34	-99,07	-3,11
702	STR3_C		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR4_C		-18,82	-2,75	30,25	59,30	-115,50	-0,30
702	STR5_C		-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82

**RESISTENZA DEL SISTEMA DI ANCORAGGIO**

Sollecitazione di progetto su ciascun sistema di ancoraggio

F<sub>a,Ed</sub> = 431,18 kN



**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	83 di 95

Tipologia della rosetta di ancoraggio

Lato o diametro della rosetta di ancoraggio

Altezza efficace del tirafondo o ancorante

Spessore della rosetta di ancoraggio

Area della sezione della testa dell'ancoraggio

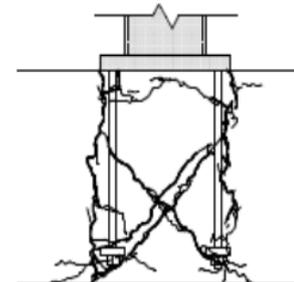
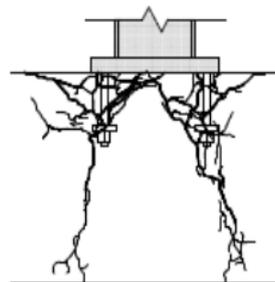
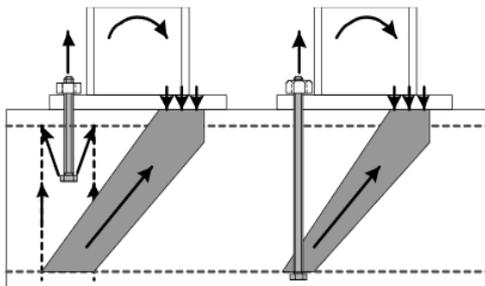
Type = **Q** -

$a_h$  o  $d_h$  = **180,00** mm

*altezza idonea*  $h_{eff}$  = **850,00** mm

$t_h$  = **15,00** mm

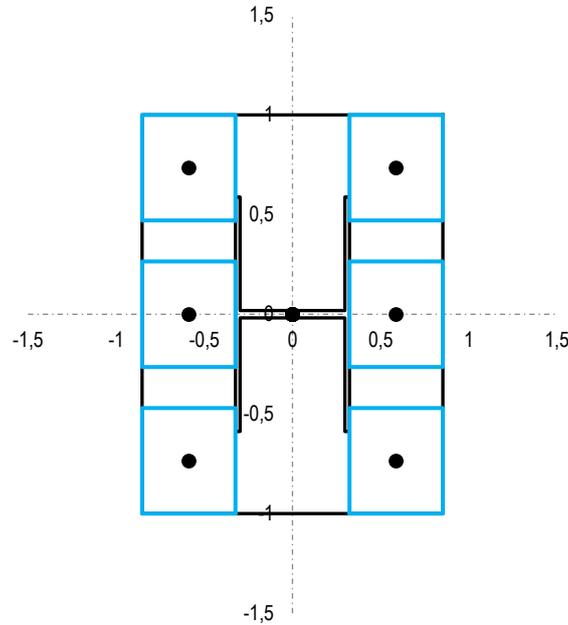
$A_h$  = **30276,28** mm<sup>2</sup>



**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	84 di 95



**NOTA**

*La resistenza dell'ancoraggio è valutata in accordo con l'ANNESSO C relativo alla Norma ETAG 2010*

**Coefficienti di sicurezza**

Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo compresso	$\gamma_c =$	1,50 -
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo teso	$\gamma_1 =$	1,20 -
Coefficiente parziale di sicurezza per il grado di sicurezza di installazione	$\gamma_2 =$	1,00 -
Coefficiente parziale di sicurezza per l'ancoraggio	$\gamma_{Mc} =$	1,80 -
Altezza efficace ridotta in ragione delle reali distanze dai bordi	$h_{ef}' =$	750,00 mm
Resistenza iniziale di un ancorante posto in calcestruzzo non fessurato	$N_{0,Rk,c} =$	810,00 kN
Distanza orizzontale minima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$c_{h,min} =$	375,00 mm
Distanza verticale minima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$c_{v,min} =$	475,00 mm
Distanza orizzontale massima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$c_{h,max} =$	1125,00 mm
Distanza verticale massima dell'ancorante dal bordo della fondazione	$c_{v,max} =$	1000,00 mm
Interasse necessario per garantire la resistenza caratteristica a trazione	$s_{cr,N} =$	2550,00 mm
	$s_{cr,N}' =$	2250,00 mm
Distanza dal bordo per garantire la resistenza caratteristica a trazione	$c_{cr,N} =$	1275,00 mm
	$c_{cr,N}' =$	1125,00 mm
Area di un ancorante singolo senza effetti di interassi e distanze dai bordi	$A_{0,c,N}' =$	5,06E+06 mm <sup>2</sup>
Area effettiva di un ancorante singolo sulla superficie di calcestruzzo	$A_{c,N}' =$	2,21E+06 mm <sup>2</sup>

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	85 di 95

Rapporto tra l'area effettiva e l'area ideale del singolo ancorante	$A_N/A_{N0}$	0,44	-
Fattore che tiene in conto degli effetti di bordo	$\Psi_{s,N}$	0,80	-
Fattore che tiene in conto dell'effetto dell'armatura	$\Psi_{re,N}$	1,00	-
Fattore che tiene in conto dell'effetto dell'eccentricità	$\Psi_{ec,N}$	1,00	-
Fattore che tiene in conto della fessurazione del calcestruzzo	$\Psi_{ucr,N}$	1,00	-
<b>Resistenza per collasso del cono di calcestruzzo</b>	<b><math>N_{Rd,c}</math></b>	<b>52,44</b>	<b>kN</b>

$$N_{Rd,c} = (N_{0,Rk,c} (A_{c,N}/A_{0,c,N}) \Psi_{s,N} \Psi_{re,N} \Psi_{ec,N} \Psi_{ucr,N}) / (\eta \gamma_{Mc})$$

<b>Resistenza al fenomeno del pull - out</b>	<b><math>N_{Rd,p}</math></b>	<b>3027,63</b>	<b>kN</b>
--	------------------------------	----------------	-----------

$$N_{Rd,p} = (6 A_h R_{ck} \Psi_{ucr,N}) / \gamma_{Mc}$$

<b>Verifica dell'ancoraggio</b>	<b><math>\rho_{anchor}</math></b>	<b>8,22</b>	<b>-</b>
---------------------------------	-----------------------------------	-------------	----------

*Si rende necessaria l'introduzione di apposita armatura per scongiurare l'effetto della rottura conica del cls*

**ARMATURA NECESSARIA PER L'ANCORAGGIO**

Sollecitazione sull'armatura di ciascun ancoraggio	$\Delta F_{a,Ed}$	378,73	kN
Resistenza a snervamento dell'acciaio d'armatura	$f_{yk}$	450,00	MPa
Coefficiente di sicurezza relativo all'acciaio d'armatura	$\gamma_s$	1,15	-
<b>Resistenza di calcolo a trazione</b>	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	<b>391,30</b>	<b>MPa</b>
<b>Armatura necessaria per evitare lo sfilamento del tirafondo</b>	<b><math>A_{s,min}</math></b>	<b>967,87</b>	<b>mm<sup>2</sup></b>
Diametro dell'armatura scelto per equilibrare la trazione	$\phi$	20,00	mm
<b>Numero minimo di ferri attorno a ciascun ancoraggio</b>	<b><math>n_{f,min}</math></b>	<b>3,08</b>	<b>-</b>
Numero di ferri d'armatura effettivamente disposti attorno all'ancoraggio	$n_f$	4,00	OK

**Determinazione della lunghezza minima di ancoraggio**

Valore di progetto della resistenza a trazione del calcestruzzo	$f_{ctd}$	1,20	MPa
Coefficiente legato alla condizione di aderenza	$\eta_1$	0,70	-
Coefficiente legato al diametro della barra	$\eta_2$	1,00	-
<b>Valore di progetto della tensione di aderenza</b>	$f_{bd} = 2.25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd}$	<b>1,89</b>	<b>MPa</b>
Tensione nella barra	$\sigma_{sd}$	301,39	MPa
<b>Lunghezza di ancoraggio minima per ancorare la barra</b>	<b><math>l_{b,rqd}</math></b>	<b>799,33</b>	<b>mm</b>

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

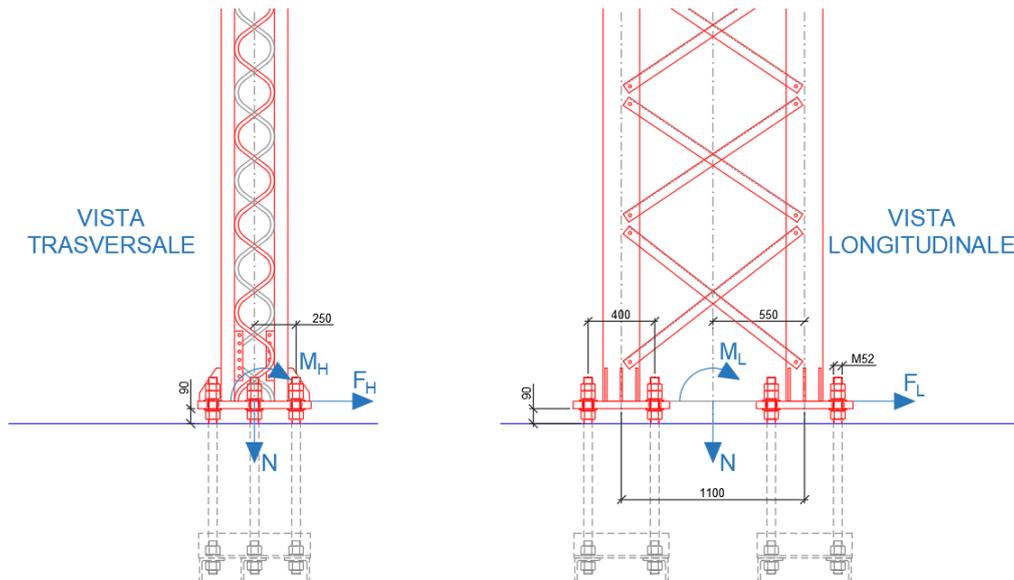
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC000006	B	86 di 95

### 11.5.2.-.Verifiche strutturali

Le verifiche strutturali sono state condotte con riferimento alle combinazioni di carico “STR” riportate in tabella:

REAZIONI ALLA BASE DEL SOSTEGNO PER LE VERIFICHE DI TIPO STRUTTURALI								
Nodo	Combinazione	StepType	$F_L$ - Long	$F_H$ - Trasv	N - Vert	$M_L$ - Long	$M_H$ - Trasv	$M_{torcente}$
		Testo	KN	KN	KN	KNm	KNm	KNm
702	STR1_A		-15,53	-2,75	30,25	59,30	-99,07	-1,51
702	STR2_A		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR3_A		-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82
702	STR2_B		-15,53	-7,09	38,02	97,61	-102,02	-1,52
702	STR3_B		-15,53	-9,99	34,13	101,96	-100,54	-1,52
702	STR4_B		-15,53	-18,01	30,25	138,64	-99,07	-4,58
702	STR5_B		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR6_B		-18,46	-2,75	30,25	59,30	-113,38	-1,16
702	STR8_B		-15,53	-13,43	30,25	114,84	-99,07	-3,66
702	STR1_C		-15,53	-2,75	30,25	59,30	-99,07	-1,51
702	STR2_C		-15,53	-14,46	30,25	118,34	-99,07	-3,11
702	STR3_C		-15,53	-8,81	30,25	87,28	-99,07	-1,51
702	STR4_C		-18,82	-2,75	30,25	59,30	-115,50	-0,30
702	STR5_C		-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82

I carichi N,  $F_L$ ,  $F_H$ ,  $M_L$ ,  $M_H$  alla base del sostegno sono stati valutati sui singoli tirafondi considerando le distanze riportate nel disegno che segue:



Nella tabella seguente sono riportati i valori degli sforzi risultanti sulla barra più sollecitata per ciascuna delle combinazioni di carico precedentemente esposte; in rosso sono evidenziati i valori massimi di ciascuna componente:

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	87 di 95

RISULTANTI		
$N_{tot}$	$F_{tot}$	$M_{tot}$
daN	daN	daNm
21863,05	131,43	11,83
22710,93	148,79	13,39
15817,98	90,55	8,15
23678,71	142,27	12,80
23482,11	153,88	13,85
24267,30	198,18	17,84
22710,93	148,79	13,39
24725,05	155,53	14,00
23546,08	171,10	15,40
21863,05	131,43	11,83
23652,14	176,83	15,91
22710,93	148,79	13,39
25149,05	158,50	14,26
15817,98	90,55	8,15

Le caratteristiche meccaniche e fisiche del sistema di ancoraggio (bulloni+piastra) sono quelle di seguito riportate:

E	2100000	modulo elastico acciaio
$f_{yk}$	3550	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk}$	5100	tensione caratteristica di rottura
$f_{tbk}$	4800	tensione caratteristica di snervamento bullone cl. 6.8
$\gamma_{M0}$	1,05	coefficiente di sicurezza instabilità membrature
$\gamma_{M2}$	1,25	coefficiente di sicurezza sezioni forate

$A_N$	$A_{res}$	$F_{v,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$F_{b,Rd}$
cmq	cmq	daN	daN	daN
21,24	17,63	33843,55	60918,39	77637,83

k	$\alpha$	$d_0$	d	t
		cm	cm	cm
1,90	0,43	7,00	5,20	4,50

Dove:

- $A_N$  Area sezione nominale bullone M52
- $A_{res}$  Area sezione resistente bullone M52
- $F_{v,Rd}$  Resistenza a taglio bullone cl. 6.8
- $F_{t,Rd}$  Resistenza a trazione bullone cl. 6.8
- $F_{b,Rd}$  Resistenza a rifollamento piastra
- $d_0$  Diametro foro
- d Diametro bullone
- t Spessore flangia di base

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	88 di 95

- (per il significato dei termini  $k$  e  $\alpha$  vedere DM 17/01/2018 p.to 4.2.8.1.1)

*Verifica a sforzo normale:*

$$N_{\text{tot,MAX}} = 25195 \text{ daN} < F_{t,Rd}$$

$$\text{con: } F_{t,Rd} = \frac{0,90 f_{tk} A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

*Verifica a taglio:*

$$F_{\text{tot,MAX}} = 198,18 \text{ daN} < F_{v,Rd}$$

$$\text{con } F_{v,Rd} = \frac{0,5 * f_{tk} * A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

*Verifica a rifollamento:*

$$F_{\text{tot,MAX}} = 198,18 \text{ daN} < F_{b,Rd}$$

$$\text{con } F_{b,Rd} = \frac{k * \alpha * f_{tk} * d * t}{\gamma_{M2}}$$

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	89 di 95

## 12.-..VERIFICA FONDAZIONE

Le verifiche geotecniche da eseguire per il blocco di fondazione dell'opera sono:

- Verifica a carico limite verticale;
- Verifica di scorrimento sul piano di posa;
- Verifica di compatibilità dei cedimenti.

### 12.1.-..AZIONI IN TESTA AL PLINTO

Si riportano di seguito le reazioni alla base del sostegno per le diverse combinazioni di carico:

REAZIONI ALLA BASE DEL SOSTEGNO							
Nodo	Combinazione	F <sub>L</sub> - Long	F <sub>H</sub> - Trasn	N - Vert	M <sub>L</sub> - Long	M <sub>H</sub> - Trasn	M <sub>torcente</sub>
		KN	KN	KN	KNm	KNm	KNm
702	GEO5_A	-13,46	-7,63	24,33	75,52	-85,83	-1,31
702	GEO8_A	-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82
702	GEO2_B	-13,46	-6,14	31,07	84,47	-88,39	-1,31
702	GEO3_B	-13,46	-8,65	27,70	88,24	-87,11	-1,32
702	GEO4_B	-13,46	-15,61	24,33	120,03	-85,83	-3,97
702	GEO5_B	-13,46	-7,63	24,33	75,52	-85,83	-1,31
702	GEO7_B	-15,24	-11,64	24,33	99,40	-94,51	-2,96
702	GEO8_B	-10,35	-3,31	26,07	64,44	-68,24	-1,82
702	GEO9_B	-13,46	-6,14	27,70	76,60	-87,11	-1,31
702	GEO6_C	-16,31	-2,38	24,33	51,27	-100,07	-0,26
702	GEO7_C	-15,45	-9,48	24,33	87,09	-95,80	-1,55

### 12.2.-..VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE

#### 12.2.1.-..Plinto

Simbologia adottata

n°	Indice plinto
N	Carico verticale trasferito al terreno, espresso in [kN]
N <sub>p</sub>	Carico verticale trasferito ai pali, espresso in [kN]
Q <sub>u</sub>	Portanza ultima, espressa in [kN]
Q <sub>up</sub>	Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
Q <sub>d</sub>	Portanza di progetto ((P <sub>u</sub> +P <sub>up</sub> )/h), espressa in [kN]
N <sub>t</sub>	Carico verticale totale (N+N <sub>p</sub> ), espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza a carico limite (P <sub>d</sub> /N <sub>t</sub> ). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

n°	N	N <sub>p</sub>	Q <sub>u</sub>	Q <sub>up</sub>	Q <sub>d</sub>	N <sub>t</sub>	h
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
1	11,76	156,45	0,00	4280,39	1861,04	168,21	11.064(12)

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	90 di 95

**Coefficienti di capacità portante e caratteristiche terreno di progetto**

Simbologia adottata

Np Numero identificativo plinto  
Nc, Nq, Ng coeff. di capacità portante  
N'c, N'q, N'g coeff. di capacità portante corretti (fattori di forma, di affondamento, ecc.)

Parametri strato equivalente terreno di progetto

H Altezza cuneo di rottura, espresso in [m]  
g Peso nell'unità di volume, espresso in [kN/mc]  
f Angolo di attrito, espresso in [°]  
c Coesione, espressa in [kPa]

n°	Nc	N'c	Nq	N'q	Ng	N'g	H	g	f	c
							[m]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,41	19,0000	27.000	0,0120

Fattori correttivi portanza

Simbologia adottata

Ip Indice plinto  
ic, iq, ig Fattori di inclinazione del carico  
dc, dq, dg Fattori di profondità del piano di posa  
gc, gq, gg Fattori di inclinazione del profilo topografico  
bc, bq, bg Fattori di inclinazione del piano di posa  
sc, sq, sg Fattori di forma della fondazione  
pc, pq, pg Fattori di riduzione per punzonamento secondo Vesic  
egk, egi Fattori di correzione secondo Cascone  
rg Fattori per tener conto dell'effetto piastra. Per fondazioni che hanno larghezza maggiore di 2 m, il terzo termine della formula trinomia  $0.5BgN_g$  viene moltiplicato per questo fattore.

In tabella sono indicati con il simbolo '--' i coefficienti non presenti nel metodo scelto (Vesic).

Ip	ic iq ig	dc dq dg	gc gq gg	bc bq bg	sc sq sg	pc pq pg	egk egi	rg
1	0.152 0.217 0.085	1.320 1.243 1.000	1.000 1.000 1.000	1.000 1.000 1.000	-- -- --	-- -- --	-- -- --	1.000

**PROGETTO DEFINITIVO**

 LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
 PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
 – RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	91 di 95

**12.2.1.-..Pali**

Simbologia adottata

n° Indice palo

Oggetto Oggetto di appartenenza del palo (Piastra, Plinto o Trave)

N Carico verticale agente alla testa del palo, espresso in [kN]

Pd Portanza di progetto, espresso in [kN]

FSV Fattore di sicurezza (Pd/N). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

T Carico orizzontale agente alla testa del palo, espresso in [kN]

Td Portanza trasversale di progetto, espresso in [kN]

FSO Fattore di sicurezza (Vd/V). Tra parentesi l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

n°	Oggetto	N [kN]	Pd [kN]	FS <sub>v</sub>	T [kN]	Td [kN]	FS <sub>o</sub>
1	Plinto 1	-37,47	540,39	14.421 (5)	1,44	39,37	27.288 (13)
2	Plinto 1	87,37	641,31	7.340 (5)	1,28	39,37	30.740 (13)
3	Plinto 1	-62,42	540,39	8.657 (5)	1,19	39,37	33.093 (13)
4	Plinto 1	57,61	641,31	11.132 (13)	1,74	39,37	22.594 (13)
5	Plinto 1	76,53	641,31	8.380 (12)	1,00	39,37	39.528 (3)
6	Plinto 1	111,15	641,31	5.770 (5)	1,61	39,37	24.450 (13)

Dettagli calcolo portanza verticale

Simbologia adottata

n° Indice palo

Oggetto Oggetto di appartenenza del palo (Piastra, Plinto o Trave)

 N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub> Coeff. di capacità portante

 N'<sub>c</sub>, N'<sub>q</sub> Coeff. di capacità portante corretti

 Z<sub>c</sub> Profondità andamento pressione geostatica, espressa in [m]

 P<sub>p</sub>, P<sub>l</sub> Portanza di punta e laterale caratteristica, espresse in [kN]

A Attrito negativo, espresso in [kN]

n°	Oggetto	N <sub>c</sub>	N' <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	N' <sub>q</sub>	Z <sub>c</sub> [m]	P <sub>p</sub> [kN]	P <sub>l</sub> [kN]	A [kN]
1	Plinto 1	0.000	0.000	0.000	0.000	--	0,00 0,00	1128,16 1128,16	0.00
2	Plinto 1	0.000	0.000	0.000	0.000	--	169,22 169,22	1128,16 1128,16	0.00
3	Plinto 1	0.000	0.000	0.000	0.000	--	0,00 0,00	1128,16 1128,16	0.00
4	Plinto 1	0.000	0.000	0.000	0.000	--	169,22 169,22	1128,16 1128,16	0.00
5	Plinto 1	0.000	0.000	0.000	0.000	--	169,22 169,22	1128,16 1128,16	0.00
6	Plinto 1	0.000	0.000	0.000	0.000	--	169,22 169,22	1128,16 1128,16	0.00

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	92 di 95

**12.3.-.VERIFICA A SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA**

Simbologia adottata

n°	Indice plinto
T	Carico orizzontale trasferito al terreno, espresso in [kN]
Tp	Carico orizzontale trasferito ai pali, espresso in [kN]
Ru	Resistenza ultima a carichi orizzontali del terreno, espressa in [kN]
Rup	Resistenza ultima a carichi orizzontali dei pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista
Rd	Resistenza di progetto allo scorrimento ((Ru+Rup)/h), espressa in [kN]
Tt	Carico orizzontale totale (T+Tp), espresso in [kN]
FS	Fattore di sicurezza allo scorrimento (Rd/Tt). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo.

n°	T	Tp	Ru	Rup	Rd	Tt	FS
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	
1	18,01	8,14	29,30	307,10	305,82	26,16	11.740(13)

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMME SSA	LOTTO	CODIFIC A	DOCUM ENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	93 di 95

### 13.-...VERIFICA DI COMPATIBILITÀ DEI CEDIMENTI

Simbologia adottata:

Ip           Indice palo]  
w            Cedimento verticale, espresso in [cm]  
Ic            Indice della combinazione

Ip	w	Ic
	[cm]	
1	0,014	19
2	0,047	18
3	-0,006	19
4	0,033	19
5	0,044	18
6	0,05	18

A valle dei risultati ottenuti il cedimento di 0,05 cm si ritiene ampiamente compatibile con gli spostamenti attesi della struttura in esame.

**PROGETTO DEFINITIVO**

LINEA DI CONTATTO – PALO 2XLSU22  
PER ORMEGGIO STRALLO PUNTO FISSO  
– RELAZIONE DI CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IP00	00	D18CL	LC00000 06	B	94 di 95

## 14.-..CONCLUSIONI

In virtù di tutto quanto sopra premesso, con particolare riferimento:

- alle caratteristiche geometriche della struttura in oggetto, descritte nel capitolo [ 3 ] e chiaramente individuata negli elaborati grafici;
- alla tipologia dei vincoli esterni dei pali;
- alla tipologia dei vincoli interni sia tra pali – piastra - tirafondi, come descritto nel capitolo [ 6 ];
- alla sezione dei vari elementi strutturali;
- alle caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati, chiaramente individuate nel capitolo [ 4 ];
- ai carichi agenti (permanenti, variabili, e sismici), descritti nel capitolo [ 7 ];
- alle verifiche di resistenza delle membrature di cui ai capitoli [ 9 ] e [ 11 ];
- alle verifiche di compatibilità degli spostamenti della struttura in oggetto di cui al capitolo [ 13 ];
- alle caratteristiche dei terreni di cui al capitolo [ 5 ];
- alle verifiche geotecniche della fondazione di cui ai capitoli [ 10 ] e [ 12 ];

Si conclude che la struttura oggetto della presente relazione è conforme ai criteri di progettazione e di resistenza indicati nella normativa vigente:

- **D.M. del 17.01.2018:** “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”;
- **C.M. del 21.01.2019, n.7:** “Istruzioni per l’esecuzione dell’«Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2018»”;
- **UNI EN 1993-1-8:2005 [4] – Eurocodice 3 –** Progettazione delle strutture in acciaio– Parte1-8: Progettazione dei collegamenti;
- **ETAG No. 001 - Allegato C [Agosto 2010]:** “Linea guida per il benessere tecnico europeo di ancoranti metallici da utilizzare nel calcestruzzo - Progettazione di ancoranti”;

prendendo in considerazione anche le indicazioni e le prescrizioni concernenti la realizzazione di strutture in carpenteria metallica in zona sismica.