

<b>Cliente</b>	Terna S.p.A.
<b>Oggetto</b>	VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP <b>Linea Elettrica Aerea a 132 kV Semplice e Doppia Terna</b> <b>Conduttori alluminio-acciaio Ø 31,5</b> <b>Progetto e Verifica delle fondazioni F103</b>
<b>Ordine</b>	Contratto 3000021737 <i>Fornitura di servizi di ricerca, sviluppo e supporto specialistico per l'anno 2007</i>
<b>Note</b>	Rev. 01 Commessa 72305M – Lettera A8010132

PUBBLICATO A7034388 (PAD - 1044656)

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

**N. pagine** 18 **N. pagine fuori testo**

**Data** 19/12/2007

**Elaborato** SRC - Gatti Fabrizio  
A7034388 114965 AUT

**Verificato** SRC - Cadore Alessandro  
A7034388 114933 VER

**Approvato** TER - Il Responsabile - Ferrari Luigi  
A7034388 114987 APP



Mod. RISM v. 01

## *Indice*

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI E RESISTENZE DI CALCOLO .....</b>	<b>7</b>
3.1	Materiali .....	7
3.2	Resistenze di calcolo .....	7
<b>4</b>	<b>CARICHI .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>VERIFICHE .....</b>	<b>10</b>
5.1	Verifiche di stabilità cinematica di sollevamento e massima pressione sul terreno .....	10
5.2	Verifiche strutturali delle fondazioni.....	15
5.2.1	Stato tensionale nel plinto .....	15
5.2.2	Stato tensionale nel pilastro.....	16
5.2.3	Stato tensionale nel calcestruzzo, all'interfaccia moncone-fondazione .....	17
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>18</b>

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
00	27/09/2007	A7024813	Prima emissione
01	19/12/2007	A7034388	Adeguamento alla rev. 01 dei rapporti di calcolo di sostegni e monconi

## RIFERIMENTI

### Normativa

- D. M. 9 gennaio 1996, “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- D. M. 14 febbraio 1992: “Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- Circolare Min. LL.PP. 4 Luglio 1996 n. 156AA.GG./STC.: Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi” di cui al Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996;
- Testo Unico “Norme tecniche per le costruzioni”- Allegato al voto n.35/2005 dell’assemblea generale del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici del 30 marzo 2005;
- D. M. LL.PP del 21 Marzo 1988, “Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione e l’esercizio delle linee elettriche aeree esterne”;
- D. M. LL.PP. del 5 Agosto 1998, “Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione e l’esercizio delle linee elettriche aeree esterne”.
- Ordinanza PCM 20/03/2003 n. 3274 *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*
- Ordinanza PCM 10/10/2003 n. 3316 *Modifiche ed integrazioni all’ordinanza del PCM n. 3274 del 20/03/2003*
- Ordinanza PCM 3/05/2005 n. 3431 *Ulteriori modifiche ed integrazioni all’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*

### Documentazione tecnica

- [1] A7034401 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Semplice Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Calcolo di Verifica dei Sostegni Tipo "M" Zone "A-B" Allungati da H9 a H33, Rev. 01, 19/12/2007
- [2] A7034402 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Semplice Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Calcolo di Verifica dei Sostegni Tipo "N" Zone "A-B" Allungati da H9 a H42, Rev. 01, 19/12/2007
- [3] A7034403 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Semplice Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Calcolo di Verifica dei Sostegni Tipo "P" Zone "A-B" Allungati da H9 a H48, Rev. 01, 19/12/2007
- [4] A7034404 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO.

- Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Semplice Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Calcolo di Verifica dei Sostegni Tipo "V" Zone "A-B" Allungati da H9 a H42, Rev. 01, 19/12/2007*
- [5] A7034408 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. *Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Doppia Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Calcolo di Verifica dei Sostegni Tipo "L" Zone "A-B" Allungati da H9 a H33, Rev. 01, 19/12/2007*
- [6] A7034409 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. *Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Doppia Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Calcolo di Verifica dei Sostegni Tipo "M" Zone "A-B" Allungati da H9 a H33, Rev. 01, 19/12/2007*
- [7] A7034410 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. *Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Doppia Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Calcolo di Verifica dei Sostegni Tipo "N" Zone "A-B" Allungati da H9 a H45, Rev. 01, 19/12/2007*
- [8] A7034399 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. *Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Semplice Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Progettazione e Verifica dei monconi tipo "F44", Rev. 01, 19/12/2007*
- [9] A7034413 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. *Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Semplice Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Progettazione e Verifica dei monconi tipo "F45", Rev. 01, 19/12/2007*
- [10] A7034378 VERIFICA STRUTTURALE DEI SOSTEGNI DELLA SERIE 132 KV A TIRO PIENO. *Scheda ING23 Rev. 00 TRAL132TP - Linea Elettrica Aerea a 132-150 kV Semplice Terna Conduttori alluminio-acciaio Ø31,5 Progettazione e Verifica dei monconi tipo "F48", Rev. 01, 19/12/2007*
- [11] Dis. TERNA P005DF002 Disegno costruttivo fondazione F103, 2007

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione sono illustrate le seguenti verifiche della fondazione serie F103 prevista per i sostegni per linea aerea 132 kV in tiro pieno, nell'ipotesi che i parametri geotecnici permettano l'adozione di fondazioni del tipo diretto, come nel progetto unificato Terna:

- di stabilità cinematica
- di capacità portante del terreno di fondazione
- di resistenza strutturale

La tipologia fondazionale (a piedini separati, uno per montante) così come il sistema d'ancoraggio del sostegno (con moncone) e la forma (cassero) della fondazione sono state individuate da Terna.

La fondazione denominata **LF 103/H**, con H corrispondente alla quota imposta in cm della fondazione, è prevista per i sostegni elencati in Tabella 1.

TIPO FONDAZIONE	H (cm)	TIPO SOSTEGNO	
LF 103 / 275	275	ST	M: 9 (+2/+3); 12 (-2/+3)
		ST	N: 21 (-2/+3)
		ST	P: 9 (-2/+2)
LF 103 / 285	285	ST	P: 9 (+3); 12 (-2/+3)
			N: 24 (-2/+3); 27 (-2/+3); 30 (-2/+3); 33 (-2/+3); 36 (-2/+3); 39 (-2/+3)
			M: 15 (-2/+3); 18 (-2/+3); 21 (-2/+3)
LF103 / 295	295	ST	M 24 (-2/+3); 27 (-2/+3); 30 (-2/+3); 33 (-2/+3)
			N 42 (-2/+3)
			P 15 (-2/+3); 18 (-2/+3); 21 (-2/+3)
		DT	L 9(-2/+3); 12(-2/+3); 15 (-2/+3); 18 (-2/+3); 21 (-2/+3)
			N 9(-2/+3)
LF103 / 305	305	ST	P 24 (-2/+3)
			P 27 (-2/+3); 30 (-2/+3); 33 (-2/+3); 36 (-2/+3)
		DT	L 24 (-2/+3); 27 (-2/+3); 30 (-2/+3); 33 (-2/+3)
			N 12(-2/+3); 15 (-2/+3); 18 (-2/+3); 21 (-2/+3)
			N 24 (-2/+3); 27 (-2/+3)
LF103 / 325	325	ST	V 9 (-2/+3); 12 (-2/+3); 15 (-2/+3); 18 (-2/+3)
			P 39 (-2/+3); 42 (-2/+3); 45 (-2/+3); 48 (-2/+3)

DT	M	9 (-2/+3)
	N	30 (-2/+3); 33 (-2/+3); 36 (-2/+3); 39 (-2/+3); 42 (-2/+3); 45 (-2/+3)

Tabella 1

La progettazione e le successive verifiche sono state eseguite in conformità alla Normativa vigente, tenendo in debito conto le prescrizioni sui carichi e sovraccarichi.

Le verifiche di resistenza strutturale sono state effettuate:

- 1 per le condizioni di carico dettate dalla Norma Linee, secondo il metodo delle tensioni ammissibili;
- 2 per le condizioni di carico che prevedono l'azione sismica, con il metodo dello stato limite ultimo (S.L.U.).

I criteri di analisi e di calcolo adottati sono funzionali al grado di definizione delle opere e dei carichi in gioco; le elaborazioni sono state effettuate secondo gli ordinari metodi della Scienza delle costruzioni e le tecniche convenzionali normalmente impiegate per tali opere.

I dimensionamenti e le verifiche sono state condotte considerando per ogni tipologia di sostegno individuata quella con condizioni di carico maggiormente penalizzante.

Le unità di misura adottate sono quelle del sistema internazionale (S.I.).

## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La fondazione del traliccio metallico di sostegno della rete elettrica aerea in oggetto è formata da quattro plinti isolati, uno per ciascun montante del traliccio, posti ad una distanza pari all'interasse dei montanti del traliccio stesso.

Il plinto è composto da una parte inferiore (piede), di dimensioni massime 210 x 210 cm per un'altezza complessiva di 80 cm conformato a gradoni di altezza pari a 20 cm, su cui è impostato un pilastro a sezione circolare di diametro 80 cm, avente altezza variabile; il pilastro fuoriesce, complessivamente, dal piano campagna di 50 cm.

La quota d'imposta del plinto (a meno dello spessore di 10 cm del cls magro su cui appoggia), funzione della tipologia del traliccio, è riportata in Tabella 1.

L'ancoraggio del traliccio al plinto è garantito da un moncone che trova ancoraggio, tramite opportune squadrette, nella parte inferiore del plinto (piede); la correlazione tra altezza fondazione, tipo di moncone e tipo di sostegno è riportata in Tabella 2.

fondazione 132TP kV	SOSTEGNO	terna	allungato minimo	allungato max	Moncone
LF103/275	M	S	H12_piede+2	H12_piede+3	F44/310
	N	S	H21_piede-2	H21_piede+3	F44/310
	P	S	H09_piede-2	H09_piede+2	F44/310
LF103/285	M	S	H15_piede-2	H21_piede+3	F44/320
	N	S	H24_piede-2	H39_piede+3	F44/320
	P	S	H12_piede+3	H12_piede+3	F44/320
LF103/295	M	S	H24_piede-2	H33_piede+3	F44/330
	N	S	H42_piede-2	H42_piede+3	F44/330
	P	S	H15_piede-2	H21_piede+3	F44/330
	L	D	H09_piede-2	H21_piede+3	F44/330

	N	D	H09_piede-2	H09_piede+3	F44/330
LF103/305	P	S	H24_piede-2	H24_piede+3	F44/340
	P	S	H27_piede-2	H36_piede+3	F48/340
	L	D	H24_piede-2	H33_piede+3	F44/340
	N	D	H12_piede-2	H21_piede+3	F44/340
	N	D	H24_piede-2	H27_piede+3	F48/340
	N	D	H24_piede-2	H27_piede+3	F48/340
LF103/325	V	S	H09_piede-2	H18_piede+3	F45/360
	P	S	H39_piede-2	H48_piede+3	F48/360
	M	D	H09_piede-2	H09_piede+3	F45/360
	N	D	H30_piede-2	H45_piede+3	F48/360

Tabella 2

### 3 MATERIALI E RESISTENZE DI CALCOLO

#### 3.1 Materiali

Le caratteristiche dei materiali da impiegare sono:

- |   |                                       |                                    |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Calcestruzzo per opere di fondazione: | $R_{ck} \geq 250 \text{ daN/mm}^2$ |
| 2 | Peso specifico cls:                   | $\gamma_c = 2158 \text{ daN/m}^3$  |
| 3 | Barre d'armatura per cemento armato:  | Fe B 44 K                          |

Il peso specifico è fornito dalla Normativa sulle linee aeree (D. M. LL.PP del 21 Marzo 1988, "Approvazione delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e l'esercizio delle linee elettriche aeree esterne").

#### 3.2 Resistenze di calcolo

Le resistenze di calcolo dei materiali (resistenze di progetto o tensione ammissibile) sono determinate in accordo alla Normativa vigente (D. M. 9 gennaio 1996, "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche"), precisamente:

- 1 **tensione ammissibile** per le combinazioni di carico previste al par.: 2.4.04 - *Ipotesi di calcolo* delle Norme Linee:

- 1 Calcestruzzo per opere di fondazione ( $R_{ck} 250 \text{ daN/cm}^2$ ):
- a flessione e pressoflessione<sup>1</sup>  $\bar{\sigma}_c = 85 \text{ daN/cm}^2$
  - a compressione semplice<sup>2</sup>  $\bar{\sigma}_c = 60 \text{ daN/cm}^2$
- nel caso di compressione trasmessa dalle squadrette del moncone, considerando che questa interessa un'area limitata ben confinata, si ammette una sollecitazione max ammissibile pari a:
- compressione:  $60/0,83$   $\bar{\sigma}_c = 73 \text{ daN/cm}^2$
  - a taglio<sup>3</sup>  $\tau_c = 5,3 \text{ daN/cm}^2$

<sup>1</sup> Il valore è ricavato in base alla formula  $\sigma_{cam}^* = 60 + (R_{ck}-150)/4$ , in  $\text{daN/cm}^2$ .

<sup>2</sup> Il valore è ricavato in base alla formula  $\sigma_{cam} = 0,7 \times \sigma_{cam}^*$ , in  $\text{daN/cm}^2$ .

<sup>3</sup>  $\tau_c$  è il valore della tensione tangenziale per il quale non è richiesta la verifica delle armature al taglio e alla torsione, e si ottiene mediante la relazione  $\tau_c = 4 + (R_{ck}-150)/75$ , in  $\text{daN/cm}^2$ .  $\bar{\tau}_{c1}$  è il valore della massima tensione tangenziale ammissibile, dalla formula  $\bar{\tau}_{c1} = 14 + (R_{ck} - 150)/35$ .

$$\bar{\tau}_{c1} = 16,8 \text{ daN/cm}^2$$

1 Acciaio: Fe B 44 K:

$$\bar{\sigma}_a = 2600 \text{ daN/cm}^2$$

- **resistenze di calcolo** (in accordo anche al “Testo Unico - Norme tecniche per le costruzioni” Cap. 5.1 Costruzioni di conglomerato cementizio) per le combinazioni di carico che prevedono l’azione sismica:

2 Calcestruzzo per opere di fondazione ( $R_{ck}$  250 daN/cm<sup>2</sup>):

- compressione<sup>4</sup>

$$f_{cd} = 130 \text{ daN/cm}^2$$

- taglio<sup>5</sup>

$$7 \text{ daN/cm}^2$$

3 Acciaio: Fe B 44 K<sup>6</sup>:

$$f_{yd} = 3740 \text{ daN/cm}^2$$

#### 4 CARICHI

I carichi, per i quali vengono verificate le fondazioni, derivano dall’analisi strutturale dei sostegni effettuate da CESI.

Le analisi sui sostegni effettuate prevedono:

- le combinazioni di carico così come previsto dalle “Norme Tecniche per la progettazione, l’esecuzione e l’esercizio delle linee aeree esterne” par. 2.4.04 – *Ipotesi di carico*.
- le combinazioni di carico con l’azione sismica, in accordo alla OPCM 3274, 3316 e 3431, allegato 2;

nel primo caso le tensioni risultanti vanno confrontate con le **tensioni ammissibili**, nel secondo caso con le **resistenze di calcolo**, entrambe definite al par. 3.2.

L’analisi con l’azione sismica è stata effettuata sui sostegni con altezza massima.

Occorre peraltro considerare che l’approccio agli stati limite ultimi (S.L.U.), nel caso di verifica con l’azione sismica, consente di movimentare le riserve di resistenza del materiale fino alla resistenza di calcolo, che per il calcestruzzo risulta maggiore del 53% rispetto alla tensione ammissibile, per le verifiche con le combinazioni previste dalla stessa Norma, mentre per l’acciaio risulta maggiore del 44%.

Ciò consente quindi un dimensionamento secondo i carichi della Norma Linee, sino a quando l’incremento dovuto alle azioni sismiche si mantiene entro i limiti della differenza tra resistenza di calcolo e tensione ammissibile.

<sup>4</sup> Calcestruzzo per opere di fondazione ( $R_{ck}$  250 daN/cm<sup>2</sup>). Per la compressione trasmessa dalle squadrette, considerando che questa interessa un’area limitata ben confinata, si ammette una sollecitazione max allo SLU pari a:  $\sigma_{SLU\_cls} = R_{ck} \times 0,83/\gamma_c$  dove  $\gamma_c$  è un coefficiente di sicurezza che vale 1,6. La tensione  $\sigma_{SLU\_cls}$  nel caso in esame, vale quindi 130 daN/cm<sup>2</sup>, vedasi rif. *Testo Unico “Norme tecniche per le costruzioni”*.

<sup>5</sup> La resistenza approssimata a taglio viene valutata con riferimento al *Testo Unico “Norme tecniche per le costruzioni”*, par. 5.1.2.3.4.2, come rapporto tra la resistenza a trazione caratteristica del conglomerato  $f_{tck}$  e un coefficiente di sicurezza  $\gamma_{mc}$  pari a 3,2. La resistenza  $f_{tck}$  si calcola mediante la formula  $f_{tck} = 7 + 0,06 \times R_{ck} = 22 \text{ daN/cm}^2$ .

<sup>6</sup> La resistenza di calcolo dell’acciaio è data dal rapporto tra la resistenza di snervamento dell’Fe B 44K (4300 daN/cm<sup>2</sup>) e il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_{m,s}$  relativo all’acciaio che vale, per ogni tipo di acciaio, 1,15 (vedasi 5.1.2.1.4.3 del testo Unico)

Nella Tabella 3 sono riportati i valori massimi dei carichi delle sole combinazioni di carico da Norma Linee per i sostegni tipo utilizzabili con il presente plinto, che per quanto detto precedentemente risultano essere le più gravose.

Nella Tabella 4 sono invece riportate la pressione trasmessa al terreno (corrispondente al massimo carico di compressione del relativo sostegno), il peso della fondazione e il peso della terra che grava sulla stessa, sia per la compressione sia per la trazione.

	CARICHI (daN)		
	Compr.	Trazione	Taglio
<b>LF 103 / 275</b>	49328	45781	6357
<b>LF 103 / 285</b>	54518	50063	5965
<b>LF 103 / 295</b>	57789	53074	7168
<b>LF 103 / 305</b>	64215	57595	5852
<b>LF 103 / 325</b>	71840	64832	7757

Tabella 3

Per quanto concerne le combinazioni con l'azione sismica si ha:

Sostegni analizzati, afferenti alle fondazioni in esame	Fondazione corrispondente al sostegno analizzato con azione sismica	Massimo Fp [daN]	Massimo Fs [daN]	Massimo taglio [daN]
M ST H33	103/295	38903	30877	2582
N ST H42	103/295	35879	27589	2341
P ST H48	103/325	52736	41161	3623
L DT H33	103/305	41466	29275	2781
N DT H45	103/325	54336	37916	4562

I carichi sismici sono minori di quelli relativi alle combinazioni di carico da Norma Linee e si considerano quindi inviluppati da questi ultimi.

TIPO FONDAZIONE	Peso piede (daN)	Peso terr. grav. x traz. (daN)	Peso terr. grav. x compr. (daN)	Max pressione (daN/cm <sup>2</sup> )
<b>LF 103 / 275</b>	7503	43677	13895	1,604
<b>LF 103 / 285</b>	7613	47320	14507	1,738
<b>LF 103 / 295</b>	7721	51119	15119	1,828

<b>LF 103 / 305</b>	7829	55107	15737	1,993
<b>LF 103 / 325</b>	8047	63554	16956	2,196

Tabella 4

I carichi sono considerati applicati alla quota di interfaccia traliccio-fondazione (+ 0,50 m dal p.c.) e sono riferiti secondo gli assi del montante.

## 5 VERIFICHE

### 5.1 Verifiche di stabilità cinematica di sollevamento e massima pressione sul terreno

La verifica di stabilità cinematica viene condotta in accordo alla Norma Linee attualmente in vigore, secondo la metodologia riportata in 2.5.05 di CE11-4 (*Fondazioni a piedini separati*) ovvero, controllando che lo sforzo di trazione nei piedini tesi non superi il peso del piedino più il peso del terreno gravante su di esso e che la pressione media sui piedini compressi non superi i seguenti valori di pressione:

tipo terreno	Codice convenzionale tipo terreno	Pressione ammissibile [daN/cm <sup>2</sup> ]	Angolo $\alpha$ di inclinazione [°]
Ghiaia, sabbia, argilla asciutta compatta	A	3,9	30
Terreno vegetale consistente	B	2,0	20
Terreno di riporto, argilla umida sabbiosa	C	1,0	20

#### Risultati della verifica per fondazione 103/275

fondazione 103/275 132tp		
<b>Dati di input</b>		
Diametro colonnino [m]	0,8	
fuoriterra [m]	0,5	
Y1	2158	Peso specifico calcestruzzo
Y2	1570	Peso specifico terreno
b [m]	2,1	lato fondazione a terra
h [m]	2,55	Altezza -fondazione interrata - altezza prima risega
H [m]	2,75	Altezza totale fondazione interrato
alfa [rad]	0,5235988	
beta [rad]	0,3490659	
S [daN]	45781	
C [daN]	49328	
<b>Variabili calcolate</b>		
a [m]	0,20	Altezza prima risega
V1c [m^3]	3,28	Volume calcestruzzo relativo ad altezza h
V1t [m^3]	8,85	Volume terra gravante
Vt [m^3]	27,82	Volume terra attiva
Vc [m^3]	3,477	Volume calcestruzzo totale
P [daN]	70728	
K [daN]	51179	
<b>Verifica Strappamento</b>		
K/S	1,118	criterio $K/S \geq 1$
<b>Verifica Compressione</b>		
P/A	16038	daN/mq
	1,604	daN/cm <sup>2</sup> $\leq 3,9$ daN/cm <sup>2</sup>

La verifica a compressione (per terreno tipo A e B) e a strappamento è soddisfatta.

### Risultati della verifica per fondazione 103/285

fondazione 103/285 132tp		
<b>Dati di input</b>		
Diametro colonnino [m]	0,8	
fuoriterra [m]	0,5	
Y1	2158	Peso specifico calcestruzzo
Y2	1570	Peso specifico terreno
b [m]	2,1	lato fondazione a terra
h [m]	2,65	Altezza -fondazione interrata - altezza prima risega
H [m]	2,85	Altezza totale fondazione interrato
alfa [rad]	0,5235988	
beta [rad]	0,3490659	
S [daN]	50063	
C [daN]	54518	
<b>Variabili calcolate</b>		
a [m]	0,20	Altezza prima risega
V1c [m <sup>3</sup> ]	3,33	Volume calcestruzzo relativo ad altezza h
V1t [m <sup>3</sup> ]	9,24	Volume terra gravante
Vt [m <sup>3</sup> ]	30,14	Volume terra attiva
Vc [m <sup>3</sup> ]	3,528	Volume calcestruzzo totale
P [daN]	76640	
K [daN]	54931	
<b>Verifica Strappamento</b>		
K/S	1,097	critero $K/S \geq 1$
<b>Verifica Compressione</b>		
P/A	17379	daN/mq
	1,738	daN/cm <sup>2</sup> $\leq 3,9$ daN/cm <sup>2</sup>

La verifica a compressione (per terreno tipo A e B) e a strappamento è soddisfatta.

### Risultati della verifica per fondazione 103/295

fondazione 103/295 132tp		
<b>Dati di input</b>		
Diametro colonnino [m]	0,8	
fuoriterra [m]	0,5	
Y1	2158	Peso specifico calcestruzzo
Y2	1570	Peso specifico terreno
b [m]	2,1	lato fondazione a terra
h [m]	2,75	Altezza -fondazione interrata - altezza prima risega
H [m]	2,95	Altezza totale fondazione interrato
alfa [rad]	0,5235988	
beta [rad]	0,3490659	
S [daN]	53074	
C [daN]	57789	
<b>Variabili calcolate</b>		
a [m]	0,20	Altezza prima risega
V1c [m <sup>3</sup> ]	3,38	Volume calcestruzzo relativo ad altezza h
V1t [m <sup>3</sup> ]	9,63	Volume terra gravante
Vt [m <sup>3</sup> ]	32,56	Volume terra attiva
Vc [m <sup>3</sup> ]	3,578	Volume calcestruzzo totale
P [daN]	80633	
K [daN]	58847	
<b>Verifica Strappamento</b>		
K/S	1,109	critero $K/S \geq 1$
<b>Verifica Compressione</b>		
P/A	18284	daN/mq
	1,828	daN/cm <sup>2</sup> $\leq 3,9$ daN/cm <sup>2</sup>

La verifica a compressione (per terreno tipo A e B) e a strappamento è soddisfatta.

### Risultati della verifica per fondazione 103/305

fondazione 103/305 132tp		
<b>Dati di input</b>		
Diametro colonnino [m]	0,8	
fuoriterra [m]	0,5	
Y1	2158	Peso specifico calcestruzzo
Y2	1570	Peso specifico terreno
b [m]	2,1	lato fondazione a terra
h [m]	2,85	Altezza -fondazione interrata - altezza prima risega
H [m]	3,05	Altezza totale fondazione interrato
alfa [rad]	0,5235988	
beta [rad]	0,3490659	
S [daN]	58076	
C [daN]	64331	
<b>Variabili calcolate</b>		
a [m]	0,20	Altezza prima risega
V1c [m <sup>3</sup> ]	3,43	Volume calcestruzzo relativo ad altezza h
V1t [m <sup>3</sup> ]	10,02	Volume terra gravante
Vt [m <sup>3</sup> ]	35,10	Volume terra attiva
Vc [m <sup>3</sup> ]	3,628	Volume calcestruzzo totale
P [daN]	87897	
K [daN]	62929	
<b>Verifica Strappamento</b>		
K/S	1,084	criterio $K/S \geq 1$
<b>Verifica Compressione</b>		
P/A	19931	daN/mq
	1,993	daN/cm <sup>2</sup> $\leq 3,9$ daN/cm <sup>2</sup>

La verifica a compressione (per terreno tipo A e B) e a strappamento è soddisfatta.

### Risultati della verifica per fondazione 103/325

fondazione 103/325 132tp		
<b>Dati di input</b>		
Diametro colonnino [m]	0,8	
fuoriterra [m]	0,5	
Y1	2158	Peso specifico calcestruzzo
Y2	1570	Peso specifico terreno
b [m]	2,1	lato fondazione a terra
h [m]	3,05	Altezza -fondazione interrata - altezza prima risega
H [m]	3,25	Altezza totale fondazione interrato
alfa [rad]	0,5235988	
beta [rad]	0,3490659	
S [daN]	64832	
C [daN]	71846	
<b>Variabili calcolate</b>		
a [m]	0,20	Altezza prima risega
V1c [m <sup>3</sup> ]	3,53	Volume calcestruzzo relativo ad altezza h
V1t [m <sup>3</sup> ]	10,80	Volume terra gravante
Vt [m <sup>3</sup> ]	40,48	Volume terra attiva
Vc [m <sup>3</sup> ]	3,729	Volume calcestruzzo totale
P [daN]	96856	
K [daN]	71607	
<b>Verifica Strappamento</b>		
K/S	1,104	critero $K/S \geq 1$
<b>Verifica Compressione</b>		
P/A	21963	daN/mq
	2,196	daN/cm <sup>2</sup> $\leq 3,9$ daN/cm <sup>2</sup>

La verifica a compressione (per terreno tipo A) e a strappamento è soddisfatta.

## 5.2 Verifiche strutturali delle fondazioni

Nel presente documento sono riportate le verifiche di resistenza strutturale, secondo il metodo delle tensioni ammissibili, che comprendono il calcolo delle tensioni nel c.a., relativamente allo stato tensionale nel calcestruzzo e nell'armatura del piede del plinto.

### 5.2.1 Stato tensionale nel plinto

Sia per l'armatura inferiore che per quella superiore si ipotizza uno schema a traliccio (asta tesa per l'armatura e biella compressa per il calcestruzzo).

Per l'armatura inferiore si assume un carico pari alla massima pressione trasmessa al terreno, mentre per l'armatura superiore si assume un carico pari al massimo peso del terreno gravante più il peso proprio del piede.

Il piede del plinto (ossia la piastra direttamente a contatto con il terreno o con il magrone di sottofondazione) è armato con due fasci di armatura ortogonali fra loro paralleli ai lati del plinto stesso.

Lo sporgenze dal corpo del plinto della piastra al piede nelle due direzioni parallela alla linea (direzione Y) e ortogonale ad essa (direzione X) sono schematizzate come mensole caricate uniformemente dalle reazioni uniformemente distribuite del terreno.

Dati quindi:

$L_1$ : dimensione massima del piedino (lato della base a contatto con il terreno)

$L_2$ : dimensione minima del piedino (lato della base superiore)

H: altezza piede

c: copriferro

$\varnothing_{pil}$ : diametro del pilastro

$h_1 = (L_1 - L_2)/2 + (L_2 - \varnothing_{pil})/2$ : altezza del trapezio di basi  $L_1$  e  $L_2$  su cui si ipotizza agisca la massima pressione del terreno

$\alpha$  = inclinazione rispetto all'orizzontale della biella compressa rappresentativa del calcestruzzo

$$1/\text{tg}(\alpha) = (L_1 - \varnothing_{pil})/[4 \times (H - c)]$$

$$L_1 = 2,10 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,1 \text{ m}$$

$$\varnothing_{pil} = 80 \text{ cm}$$

$$h_1 = 65 \text{ cm}$$

$$c = 3 \text{ cm}$$

$$H = 0,80 \text{ m}$$

$$1/\text{tg}(\alpha) = 0,422$$

**Armatura inferiore ( $7\varnothing 12 = 7,91 \text{ cm}^2$ )**

$$\text{Area di Carico} = (L_2 + L_1) \times h_1 / 2 = (210 + 110) \times 65 / 2 = 10400 \text{ cm}^2$$

$$\text{Carico N} = (\text{pressione max}) \times (\text{Area di carico}) = 2,196 \times 11200 = 22838 \text{ daN}$$

$$\text{Tensione max. armatura} = N / \text{tg}(\alpha) / (\text{armatura inferiore}) = 22838 \times 0,422 / 7,91 = 1218 \text{ daN/cm}^2 < 2600 \text{ daN/cm}^2$$

**Armatura superiore ( $6\varnothing 12 = 6,78 \text{ cm}^2$ )**

$$\text{Carico N} = [(\text{peso terreno gravante} \times \text{trazione}) + (\text{peso plinto})] / 4 = (63554 + 8047) / 4 = 17900 \text{ daN}$$

$$\text{Tensione max. armatura} = N / \text{tg}(\alpha) / (\text{armatura superiore}) = 17900 \times 0,422 / 6,78 = 1114 \text{ daN/cm}^2 < 2600 \text{ daN/cm}^2$$

**Massima sollecitazione a taglio nel calcestruzzo**

$$\text{Carico T} = (\text{Carico N armatura inferiore})$$

$$\text{Area di taglio} = (L_1 + \varnothing_{pil}) \times H / 2 = (210 + 80) \times 80 / 2 = 11600 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tensione di taglio massima nel calcestruzzo} = 22838 / 11600 = 1,97 \text{ daN/cm}^2 < 5,3 \text{ daN/cm}^2$$

### 5.2.2 Stato tensionale nel pilastro

Come successivamente definito, le azioni corrispondenti ai carichi verticali trasmessi dal sostegno sono considerate trasferite interamente al piede della fondazione; il pilastro è da considerarsi pertanto sollecitato dalla sola azione orizzontale di taglio trasmessa dal sostegno che induce, alla base del pilastro, un momento flettente pari al taglio per l'altezza del pilastro stesso.

Le massime sollecitazioni alla base del pilastro sono:

- Azione di taglio  $T = 7757 \text{ daN}$  (sostegno M, doppia terna, H 09)
- Braccio =  $2,95 \text{ m} = 3,25$  (altezza totale fondazione interrata) –  $0,8$  (spessore plinto) +  $0,50$  (fuoriterra)
- Momento flettente alla base del pilastro =  $7757 \text{ daN} \times 2,95 \text{ m} = 228,83 \text{ kNm}$

Come da specifica richiesta Terna, il valore minimo dell'azione orizzontale (taglio di progetto) alla quale il pilastro deve essere in grado di far fronte non deve comunque essere inferiore a  $8000 \text{ daN}$ , ossia al valore massimo del tiro di amarro al piede, pari a  $3200 \text{ daN}$  per la serie 132-150 kV, moltiplicato per un coefficiente di sicurezza pari a  $2,5$ .

Il momento flettente alla base del pilastro utilizzato per la verifica è quindi:

- $8000 \text{ daN} \times 2,95 \text{ m} = 236,0 \text{ kNm}$

Si considera una sezione con le seguenti caratteristiche:

- Sezione:  $\varnothing 80 \text{ cm}$ ;
- Copriferro:  $3 \text{ cm}$
- Armatura:  $14 \varnothing 20$

Si ottengono le seguenti sezioni sui materiali:

- Tensione massima nel calcestruzzo:  $\sigma_c = 68 \text{ daN/cm}^2 < 85 \text{ daN/cm}^2$
- Tensione massima nei ferri:  $\sigma_f = 2373 \text{ daN/cm}^2 < 2600 \text{ daN/cm}^2$
- Tensione di taglio nel calcestruzzo:  $\tau = (4/3) 8000 / (\pi \times 70^2 / 4) = 2,12 \text{ daN/cm}^2 < 5,3 \text{ daN/cm}^2$

### 5.2.3 Stato tensionale nel calcestruzzo, all'interfaccia moncone-fondazione

Le verifiche sono fatte nei riguardi delle sole azioni trasmesse dal moncone alla fondazione, le verifiche condotte riguardano pertanto la compressione locale del calcestruzzo ed il punzonamento nello stesso; le verifiche dei monconi sono riportate nelle relazioni citate in "Riferimenti".

Per la verifica dell'interfaccia fra moncone e sostegno si è fatta l'ipotesi che la sollecitazione di trazione/compressione venga trasferita alla fondazione tramite il solo contrasto offerto dalle apposite squadrette previste sul moncone (si trascura pertanto il contributo eventualmente offerto dall'attrito moncone-calcestruzzo di fondazione), ripartendosi in parti uguali sui diversi livelli delle squadrette di ancoraggio.

Nel caso della fondazione 103 in oggetto sono previsti i monconi tipo F44, F45 e F48; nella Tabella seguente sono riportati il numero ed i livelli delle squadrette oltre al tipo e lunghezza delle stesse.

Tipo monconi	Squadrette		
	n. livelli	n. squadrette/livello	Profilo/lunghezza (mm)
F44	1	2	180 × 180 / 450
F45	1	2	200 × 200 / 500
F48	1	2	200 × 200 / 500

#### Compressione locale nel calcestruzzo

La Tabella seguente riporta per il moncone impiegato i max carichi applicati al moncone, le aree di contatto delle squadrette e le corrispondenti max sollecitazione di compressione locale sul cls (dalle Relazioni sulla verifica dei monconi a riferimento); le verifiche successive sono effettuate assumendo i max carichi applicati al moncone.

Moncone	Area di contatto	Max carico applicato	Max compressione
---------	------------------	----------------------	------------------

	squadrette (cm <sup>2</sup> )	(daN)	cls (daN/ cm <sup>2</sup> )
F44	1296	61828	47,7
F45	1600	70366	44,0
F48	1600	71840	44,9

La max compressione risulta quindi di valore inferiore al valore ammissibile pari a  $\sigma_{c/loc} = 73$  daN/cm<sup>2</sup>

#### *Punzonamento nel calcestruzzo*

Per la verifica, si considera che la pressione di contatto si distribuisca uniformemente sulle squadrette, ripartendosi in parti uguali sui diversi livelli delle squadrette di ancoraggio. Nella verifica si considera l'area di contatto come una superficie fittizia quadrata.

Tipo Moncone	Sp = Distanza minima tra ala orizzontale squadrette e bordo inferiore plinto [cm]	L = lato piastra fittizia, con area pari all'area contatto di una singola coppia di squadrette, (=area di contatto squadrette) <sup>1/2</sup> [cm]	N = Max azione assiale trazione/compressione [daN]	Tensione di taglio [daN/cm <sup>2</sup> ] =N/[4×(L+Sp) ×Sp]
F44	43	36,0	61828	4,55
F45	45	40,0	70366	4,60
F48	45	40,0	71840	4,70

Le tensioni calcolate sono inferiori al valore ammissibile di 5,33 daN/cm<sup>2</sup>.

## 6 CONCLUSIONI

La fondazione in oggetto, così come descritta nel cap. 2 della presente relazione, risulta verificata; essa è pertanto idonea ad essere adottata per i sostegni 132 kV in Tiro Pieno indicati nel Cap. 1 del presente documento.