

LINEA ELETTRICA AEREA A 380 kV SEMPLICE TERNA AD "Y"**ISOLAMENTO NORMALE**

Conduttori Ø 31,5 trinati – Zona B EDS 20%

UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO "NV"**CALCOLO DELLE AZIONI ESTERNE SUL SOSTEGNO****Storia delle revisioni**

Rev. 00	del 03/06/2008	Prima emissione.
Rev. 01	del 03/06/2010	Eseguite modifiche redazionali.

Elaborato	Verificato	Approvato
L. Alario SRI/SVT/LIN	L. Alario SRI/SVT/LIN	A.Posati SRI/SVT/LIN

m010CI-LG001-r02

CALCOLO ESEGUITO IN CONFORMITA' AL D.M. DEL 21/03/1988
DI CUI ALLA LEGGE N. 339 DEL 28/06/1986

PER IL CALCOLO DI VERIFICA DEL SOSTEGNO VEDERE
ELABORATO: **CESI prot. B0007278 – Rev.1 del 16/03/2010**

1 CARATTERISTICHE GENERALI

Conduttore	All. Acc. \varnothing 31,5 mm (C 2/1) un fascio di tre conduttori per ciascuna fase
Corda di guardia	Acciaio \varnothing 11,5 mm (C 23/2); Acc.-Lega All.- ACS con fibre ottiche \varnothing 17,9 mm (C 50 / C 60) ⁽¹⁾
Isolatori	Vetro temperato a cappa e perno in catene di 21 elementi (passo 146mm) o di 18 elementi (passo 170 mm) nelle sospensioni semplici o doppie e di 19 elementi (passo 170 mm) negli amarri.
Tipo fondazione	Misto ferro – calcestruzzo a piedini separati.
Tipo sfera di segnalazione aerea	Diametro 60 cm; peso 5,5 Kg; passo d'installazione \leq 30 m.
Messa a terra	Secondo le norme citate.
Larghezza linea	16 m tra i conduttori esterni.

2 CONDUTTORI E CORDA DI GUARDIA

2.1 CARATTERISTICHE PRINCIPALI

		CONDUTTORE			CORDA DI GUARDIA		
		C 2/1	C 23/2	C 50 / C 60			
MATERIALE		All. Acc.	Acciaio	Acc.-Lega All.- ACS			
DIAMETRO CIRCOSCRITTO (mm.)		31,5	11,5	17,9			
SEZIONI TEORICHE	ALLUMINIO (mm ²)	519,50	0	118,90 (Al + Lega Al)			
	ACCIAIO (mm ²)	65,80	78,94	57,70			
	TOTALE (mm ²)	583,30	78,94	176,60			
MASSA UNITARIA (Kg/m.)		1,953	0,621	0,820			
MODULO DI ELASTICITA' (N/mm ²)		68000	175000	88000			
COEFFICIENTE DI DILATAZIONE (1/°C)		19,4 X 10 ⁻⁶	11,5 X 10 ⁻⁶	17 X 10 ⁻⁶			
CARICO DI ROTTURA (daN.)		16852	12231	10600			

2.2 CONDIZIONE BASE E CONDIZIONE DERIVATA

CONDIZIONE BASE

EDS: (Every Day Stress) 15° C, conduttore scarico

In detta condizione il tiro orizzontale è stato assunto costante per il conduttore al variare della campata equivalente della tratta (ovvero della campata reale per la corda di guardia). I valori di tiro per conduttore e corda di guardia sono:

		CONDUTTORE			CORDA DI GUARDIA		
		C 2/1	C 23/2	C 50 / C 60			
TIRO ORIZZONTALE IN EDS (daN)		3370	1113	1480			

CONDIZIONI DERIVATE

MSA: -5° C, vento alla velocità di 130 km/h

MSB: -20° C, vento alla velocità di 65 km/h, spessore manicotto di ghiaccio di 12 mm.

¹ I valori fra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate tenendo conto della presenza di sfere di segnalazione per il volo a bassa quota, con diametro di 60 cm, installate sull'intera campata.

In detta condizione i tiri sono ottenuti risolvendo l'equazione del cambiamento di stato:

$$\alpha (\Theta_d - \Theta_b) + \frac{1}{SE} (T_d - T_b) = \frac{p'_d{}^2 L^2}{24 T_d^2} - \frac{p'_b{}^2 L^2}{24 T_b^2} \quad (1)$$

Ove:

α = Coefficiente di dilatazione termica del conduttore o della corda di guardia

S = Sezione totale del conduttore o della corda di guardia

E = Modulo di elasticità del conduttore o della corda di guardia

L = Campata equivalente (²) della tratta nel caso di conduttore ovvero campata reale nel caso di corda di guardia

Condizione base

Θ_b = Temperatura del conduttore o della corda di guardia

p'_b = Carico risultante del conduttore o della corda di guardia per metro lineare

T_b = Tiro orizzontale del conduttore o della corda di guardia

Condizione derivata

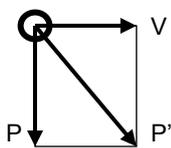
Θ_d = Temperatura del conduttore o della corda di guardia

p'_d = Carico risultante del conduttore o della corda di guardia per metro lineare

T_d = Tiro orizzontale del conduttore o della corda di guardia

Nella tabella seguente sono riportati per il conduttore o per la corda di guardia i valori della spinta del vento, di peso e di carico risultante per metro lineare nelle condizioni **EDS – MSA – MSB**.

		CONDUTTORE			CORDA DI GUARDIA (³)		
		C 2/1	C 23/2	C 50 / C 60	C 23/2	C 50 / C 60	C 50 / C 60
CONDIZIONE EDS	V (daN/m)	0	0	0			
	P (daN/m)	1,916	0,626	0,8044			
	P' (daN/m)	1,916	0,626	0,8044			
CONDIZIONE MSA	V (daN/m)	2,225	0,8123 (1,0897)	1,2643 (1,5417)			
	P (daN/m)	1,916	0,626 (0,8058)	0,8044 (0,9842)			
	P' (daN/m)	2,936	1,0255 (1,3553)	1,4985 (1,8291)			
CONDIZIONE MSB	V (daN/m)	0,980	0,6269 (0,6962)	0,740 (0,8092)			
	P (daN/m)	3,396	1,4244 (1,6042)	1,8217 (2,0015)			
	P' (daN/m)	3,5345	1,5563 (1,7487)	1,9663 (2,1589)			



V = spinta del vento per metro di conduttore o della corda di guardia (daN/m)

P = peso per metro di conduttore o della corda di guardia (daN/m)

$P' = \sqrt{V^2 + P^2}$ = carico risultante per metro di conduttore o della corda di guardia (daN/m)

L'equazione del cambiamento di stato per la determinazione del tiro orizzontale è stata eseguita facendo variare il valore L per:

- Il conduttore in un intervallo delle campate equivalenti pari a 200 m ÷ 800 m.
- la corda di guardia in un intervallo delle campate reali pari a 100 m ÷ 1000 m.

² $L = \sqrt{\frac{\sum Li^3}{\sum Li}}$ ove le Li sono le campate reali comprese fra due successivi amari

³ I valori fra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate tenendo conto della presenza di sfere di segnalazione per il volo a bassa quota, con diametro di 60 cm, installate sull'intera campata.

3 UTILIZZAZIONE MECCANICA DEL SOSTEGNO

3.1 FORMULE PER IL CALCOLO DELLE AZIONI ESTERNE

Il calcolo del sostegno è stato eseguito tenendo conto delle azioni esterne indotte dai conduttori e dalle corde di guardia nelle due ipotesi **MSA** e **MSB**.

Le formule per il calcolo di tali azioni sia per conduttori che per corde di guardia supposti integri, sono le seguenti:

$$\text{Conduttori o Corda di guardia} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Azione trasversale } T = n \cdot v \cdot C_m + n \cdot 2 \cdot \sin \delta / 2 \cdot T_0 + t^* \quad (2) \\ \text{Azione verticale } P = n \cdot p \cdot C_m + n \cdot K \cdot T_0 + p^* \quad (3) \end{array} \right.$$

Ove:

- n = numero dei cavi per il fascio di conduttori o della corda di guardia
- v = spinta del vento per metro di conduttore o di corda di guardia (vedi valori riportati al punto 2.2)
- P = peso per metro di conduttore o di corda di guardia (vedi valori riportati al punto 2.2)
- T₀ = tiro orizzontale nel conduttore o nella corda di guardia
- t* = spinta del vento sulle catene di isolatori e sulla morsetteria
- p* = peso delle catene di isolatori e della morsetteria

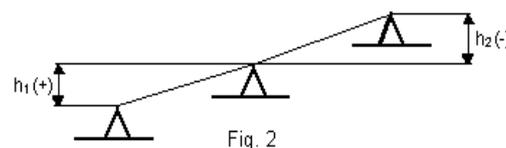
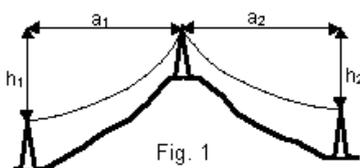
I valori di T₀ di t* e p* sono riportati nella seguente tabella:

		CONDUTTORE (n=3)			CORDA DI GUARDIA (n=1) ⁽⁴⁾	
		C 2/1	C 23/2	C 50 / C 60	C 23/2	C 50 / C 60
CONDIZIONE MSA	T ₀ (daN)	5200	2080 (2613)	2750 (3261)		
	t* (daN)	120	0	0		
	p* (daN)	300	0	0		
CONDIZIONE MSB	T ₀ (daN)	6300	3160 (3324)	3600 (3832)		
	t* (daN)	30	0	0		
	p* (daN)	300	0	0		

Dal confronto dei tiri orizzontali, delle spinte del vento e dei pesi delle corde di guardia nelle ipotesi **MSA** e **MSB** si evince che la corda di guardia C 50 / C 60 è quella che induce sul sostegno in esame le maggiori azioni esterne.

Pertanto il diagramma di utilizzazione (punto 3.2) e le azioni esterne (punto 3.4) sono state determinati con la corda di guardia C 50 / C 60. L'utilizzo di altre corde di guardia diverse dalla C 50 / C 60 obbliga il Progettista a realizzare le necessarie verifiche strutturali e a descriverne il diagramma d'impiego (fig.3).

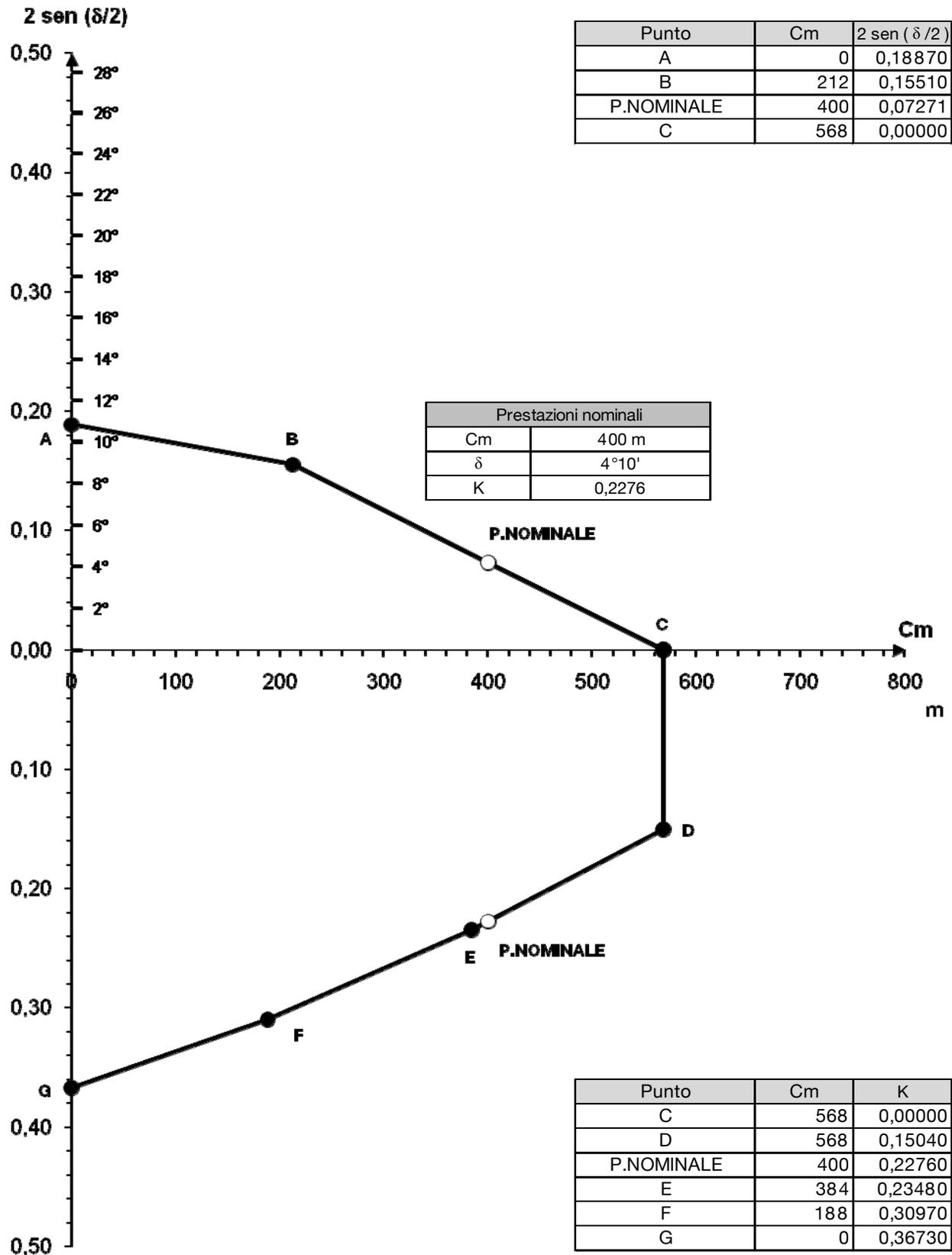
Le caratteristiche geometriche del picchetto **C_m** = campata media, **δ** = angolo di deviazione, **K** = costante altimetrica ⁽⁵⁾.



⁴ I valori fra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate calcolate tenendo conto della presenza di sfere di segnalazione per il volo a bassa quota, con diametro di 60 cm, installate sull'intera campata.

⁵ L'espressione di K è $K = \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2}$ (vedi fig.1) ove le campate "a" hanno sempre segno positivo ed i dislivelli "h" segno positivo o negativo secondo lo schema di fig.2

3.2 DIAGRAMMA DI UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO



IL DIAGRAMMA DELIMITA:

- a) Nel piano (C_m, δ) un insieme di punti ai quali corrisponde un'azione trasversale complessiva non superiore a quella di calcolo del sostegno (campo di utilizzazione trasversale).
- b) Nel piano (C_m, K) un insieme di punti ai quali corrisponde un'azione verticale complessiva non superiore a quella di calcolo del sostegno (campo di utilizzazione verticale).

Pertanto, affinché il sostegno possa essere impiegato in un picchetto di caratteristiche geometriche (C_{m_i}, δ_i, K_i) è necessario che i punti (C_{m_i}, δ_i) e (C_{m_i}, K_i) siano compresi rispettivamente nei campi di utilizzazione trasversale e verticale.

3.3 IPOTESI NORMALI ED ECCEZIONALI

Le azioni esterne per il calcolo del sostegno sono state determinate nelle condizioni **MSA** e **MSB**, sia nelle ipotesi di conduttori e corda di guardia integri (ipotesi normale), sia nelle ipotesi di rottura di conduttori e/o corde di guardia secondo quanto prescritto dalle norme (ipotesi eccezionale).

3.3.1 IPOTESI NORMALE

AZIONI TRASVERSALI E VERTICALI

Sono stati considerati i massimi valori che occorrono nelle più gravose condizioni d'impiego del sostegno (vedi diagramma di utilizzazione).

AZIONI LONGITUDINALI

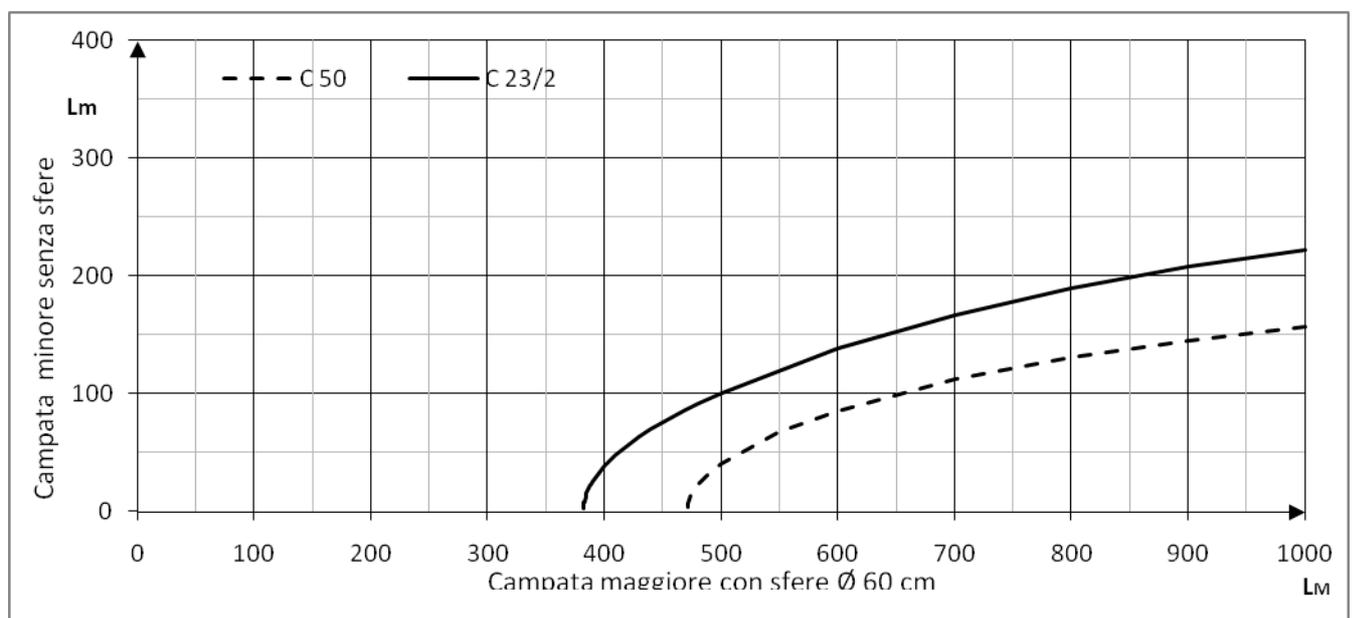
Per la corda di guardia (amarrata ad ogni sostegno) è stato considerato uno squilibrio di tiro per tenere conto della diversa lunghezza delle campate adiacenti al sostegno e di eventuali sfere di segnalazione area per il volo a bassa quota installate sulle corde di guardia con un intervallo \leq di 30 m.

Per ogni picchetto si dovrà perciò verificare mediante l'equazione del cambiamento di stato (1) che l'effettiva differenza di tiro in condizioni **MSA** e **MSB** per la corda di guardia che si intende impiegare sia minore o eguale dei valori di squilibrio considerati per il calcolo del sostegno.

Per un'indagine rapida è stato costruito il diagramma di fig. 3, che tiene conto dei massimi squilibri, relativi alla corda di guardia, calcolato con l'impiego delle sfere di segnalazione sia sulla campata minima che sulla campata massima.

Riportando nel diagramma in ascisse la campata maggiore (L_M) tra le due adiacenti al sostegno e in ordinata la minore (L_m), se il punto di coordinata (L_M, L_m) si trova al disopra della curva la verifica è positiva poiché, lo squilibrio di tiro è minore di quello di calcolo.

Fig.3



3.3.2 IPOTESI ECCEZIONALE

AZIONI TRASVERSALI E VERTICALI

CONDUTTORI Per i conduttori i valori sono stati ottenuti moltiplicando per 5/6 le corrispondenti azioni in ipotesi normale depurate dai valori della spinta del vento t^* sulle catene di isolatori e morsetteria e del relativo peso p^* assumendo questi valori costanti in entrambe le ipotesi.

CORDA DI GUARDIA Per la corda di guardia i valori sono stati ottenuti invece dimezzando le corrispondenti azioni in ipotesi normale.

AZIONI LONGITUDINALI

Sono state assunte pari al tiro orizzontale T_{δ} dei conduttori e della corda di guardia.

3.4 AZIONI ESTERNE PER IL CALCOLO DEL SOSTEGNO

I valori delle azioni esterne TPL per il calcolo del sostegno sono riportati nella seguente tabella:

STATO DEI CONDUTTORI	IPOTESI	CONDUTTORE ⁽⁶⁾			CORDA DI GUARDIA ⁽⁶⁾		
		C 2/1			C 50 / C 60 ⁽⁷⁾		
		T (daN)	P (daN)	L (daN)	T (daN)	P (daN)	L (daN)
MSA	NORMALE	3955	6212	0	719 (876)	1011 (1198)	500 (1015)
		3955	0	0	719 (876)	0	500 (1015)
	ECCEZIONALE ⁽⁸⁾	3316	5227	5200	360 (438)	506 (599)	2750 (3261)
		3316	0	5200	360 (438)	0	2750 (3261)
MSB	NORMALE	3597	8930	0	716 (766)	1577 (1714)	800 (1190)
		3597	0	0	716 (766)	0	800 (1190)
	ECCEZIONALE ⁽⁸⁾	3003	7492	6300	358 (383)	789 (857)	3600 (3832)
		3003	0	6300	358 (383)	0	3600 (3832)

Mediante le relazioni (2, 3) si può verificare come tutte le terne di prestazioni geometriche (C_m , δ , K) tali che il punto (C_m , δ) sia compreso nel "campo di utilizzazione trasversale" e il punto (C_m , K) sia compreso nel "campo di utilizzazione verticale" le azioni trasversali e verticali (sia per i conduttori che per corde di guardia) nelle condizioni **MSA** e **MSB** risultino inferiori o eguali a quelle considerate per il calcolo del sostegno e riportate nella tabella precedente.

N.B. Il calcolo di verifica del sostegno è stato eseguito considerando le azioni esterne del conduttore indicato e della corda di guardia \varnothing 17,9 mm (C50 / C 60) con installate le sfere di segnalazione per il volo a bassa quota del diametro di 60 cm (valori fra parentesi). Per l'impiego di tipologie di corde incorporanti fibre ottiche aventi lo stesso diametro esterno ma con caratteristiche meccaniche differenti, potrebbe essere necessario ridurre il tiro orizzontale in EDS nel caso che il tiro orizzontale T_o in **MSA** e **MSB** risultino superiori a quelli riportati nella tabella al punto 3.1.

⁶ Per ciascuna ipotesi normale ed eccezionale viene considerato separatamente il caso in cui l'azione verticale P sia quella corrispondente alla campata gravante massima e il caso di campata gravante nulla, che per alcune aste può risultare più severa.

⁷ I valori fra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate tenendo conto della presenza di sfere di segnalazione per il volo a bassa quota, con diametro di 60 cm, installate sull'intera campata.

⁸ Rottura di uno dei conduttori su due delle tre fasi ovvero, in alternativa, rottura della corda di guardia e di un conduttore su di una fase. I valori indicati si riferiscono ovviamente alle sole fasi o corde di guardia rotte.