

**LINEA ELETTRICA AEREA A 380 kV SEMPLICE TERNA**  
CONDUTTORI TRINATI Ø 31,5 mm – EDS 20% - ZONA “B”

## UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO “MV”

CALCOLO DELLE AZIONI ESTERNE SUL SOSTEGNO

00	01/10/2002		L.ALARIO		F.MORETTI	R. RENDINA
			RIS/IML		RIS/TEAM/FI	RIS/IML
<b>Rev.</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione revisione</b>	<b>Redatto</b>	<b>Collaborazioni</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>

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: **RL XR MVST03 – Rev. 0 del 31/03/2003**

IL PRESENTE DOCUMENTO SOSTITUISCE IL PRECEDENTE  
ENEL DCO – AITC – I2L – **E003/R6**

## 1) CARATTERISTICHE GENERALI

Conduttore	All. Acc. Ø 31,5 mm (UE – LC2/1) (un fascio di tre conduttori per ciascuna fase)
Corda di guardia	Acciaio Ø 11,5 mm (LC23/2); Acc. - Lega All. - All. Ø 17,9 mm (LC50/1).
Isolatori	Vetro temprato a cappa e perno in catene di 21 elementi (passo 146 mm) o di 18 elementi (passo 170 mm) nelle sospensioni semplici e 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 installazione ≤ 30 m.
Messa a terra	Secondo le norme citate
Larghezza linea	16 m tra i conduttori

## 2) CONDUTTORI E CORDA DI GUARDIA

### 2.1 CARATTERISTICHE PRINCIPALI

		CONDUTTORE	CORDA DI GUARDIA	CORDA DI GUARDIA
		LC 2/1	LC 23/2	LC 50/1
MATERIALE		All. Acc.	Acciaio	Acc.-Lega All.-All.
DIAMETRO CIRCOSCRITTO (mm)		31,5	11,5	17,9
SEZIONI TEORICHE	ALLUMINIO (mm <sup>2</sup> )	519,5	-	118,9 (*)
	ACCIAIO (mm <sup>2</sup> )	65,8	78,94	57,7
	TOTALE (mm <sup>2</sup> )	585,3	78,94	176,6
MASSA UNITARIA (Kg/m)		1,953	0,638	0,82
MODULO DI ELASTICITA' (N/mm <sup>2</sup> )		68.000	175.000	88.000
COEFFICIENTE DI DILATAZIONE (1/°C)		19,4 X 10 <sup>-6</sup>	11,5 X 10 <sup>-6</sup>	17 X 10 <sup>-6</sup>
CARICO DI ROTTURA (daN)		16.852	10645	10.600

(\*) All. + Lega All.

### 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 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	CORDA DI GUARDIA
		LC 2/1	LC 23/2	LC 50/1
<b>TIRO ORIZZONTALE T<sub>0</sub></b>	(daN)	<b>3.370</b>	<b>1.113</b>	<b>1.480</b>

#### - CONDIZIONE DERIVATA

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

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

In detta condizione i tiri vengono ottenuti risolvendo la equazione del cambiamento di stato:

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

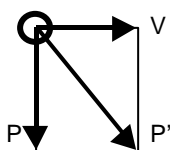
Ove:

- $\Theta_d$  = Temperatura della condizione derivata
- $\Theta_b$  = Temperatura della condizione base
- S = Sezione totale del conduttore
- E = Modulo di elasticità
- $T_d$  = Tiro orizzontale della condizione derivata
- $T_b$  = Tiro orizzontale della condizione base
- $P'_d$  = Carico risultante per metro di conduttore nella condizione derivata
- $P'_b$  = Carico risultante per metro di conduttore nella condizione base
- L = Campata equivalente (\*) della tratta nel caso di conduttore ovvero campata reale nel caso di corda di guardia

I valori di spinta del vento per metro di conduttore, di peso per metro di conduttore e di carico risultante per metro di conduttore sono riportati nella seguente tabella:

		CONDUTTORE	CORDA DI GUARDIA	CORDA DI GUARDIA
		LC 2/1	LC 23/2	LC 50/1
CONDIZIONE EDS	V	0	0	0
	P	1,916	0,626	0,8044
	P'	1,916	0,626	0,8044
CONDIZIONE MSA	V	2,225	0,8123 (1,0897)	1,2643 (1,5417)
	P	1,916	0,626 (0,8057)	0,8044 (0,9842)
	P'	2,936	1,0255 (1,3553)	1,4985 (1,8291)
CONDIZIONE MSB	V	0,98	0,6269 (0,6962)	0,740 (0,8092)
	P	3,396	1,4244 (1,6042)	1,8217 (2,0015)
	P'	3,5345	1,5563 (1,7487)	1,9663 (2,1589)

I valori tra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate con sfere di segnalazione per volo a bassa quota diametro 60 cm installate sull'intera campata (passo  $\leq$  30m).



V = spinta del vento per metro di conduttore (daN/m)

P = peso per metro di conduttore (daN/m)

$P' = \sqrt{v^2 + p^2}$  = carico risultante per metro di conduttore (daN/m)

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

### 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 dei conduttori e delle 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:

Conduttori	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Azione trasversale} \\ \text{Azione verticale} \end{array} \right.$	$T = 3 v C_m + 3 * 2 \text{ sen } \delta/2 T_0 + t^* \quad (2)$
		$P = 3 p C_m + 3 K T_0 + p^* \quad (3)$
Corde di guardia	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Azione trasversale} \\ \text{Azione verticale} \end{array} \right.$	$T = v C_m + 2 \text{ sen } \delta/2 T_0 \quad (4)$
		$P = p C_m + K T_0 \quad (5)$

Ove:

- v = spinta del vento per metro di conduttore
- p = peso per metro di conduttore i valori di v e di p sono riportati in 2.2
- t\* =  $\begin{cases} 120 \text{ daN (MSA) spinta del vento su isolatori e morsetteria} \\ 30 \text{ daN (MSB) spinta del vento su isolatori e morsetteria} \end{cases}$
- p\* = 300 daN peso di isolatori e morsetteria
- T<sub>0</sub> = tiro orizzontale nel conduttore

I valori di T<sub>0</sub> sono riportati nella seguente tabella:

	CONDUTTORE	CORDA DI GUARDIA	CORDA DI GUARDIA
	LC 2/1	LC 23/2	LC 50/1
<b>MSA</b> (daN)	<b>5.200</b>	<b>2.080 (2613)</b>	<b>2.750 (3260)</b>
<b>MSB</b> (daN)	<b>6.300</b>	<b>3.160 (3324)</b>	<b>3.600 (3832)</b>

I valori tra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate con sfere di segnalazione per volo a bassa quota diametro 60 cm installate sull'intera campata (passo ≤ 30m).

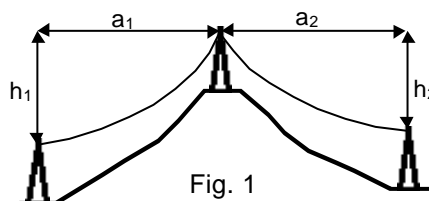
I suddetti tiri sono stati ottenuti mediante la equazione del cambiamento di stato e rappresentano i massimi valori che il tiro assume nella suddetta ipotesi:

per i conduttori in un intervallo di campate equivalenti pari a 200 ÷ 800 m

per le corde di guardia in un intervallo di campate reali pari a 100 ÷ 1000 m

- caratteristiche geometriche del picchetto:

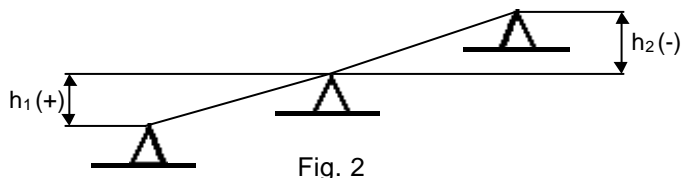
- C<sub>m</sub> = campata media
- δ = angolo di deviazione
- K = costante altimetrica (\*)



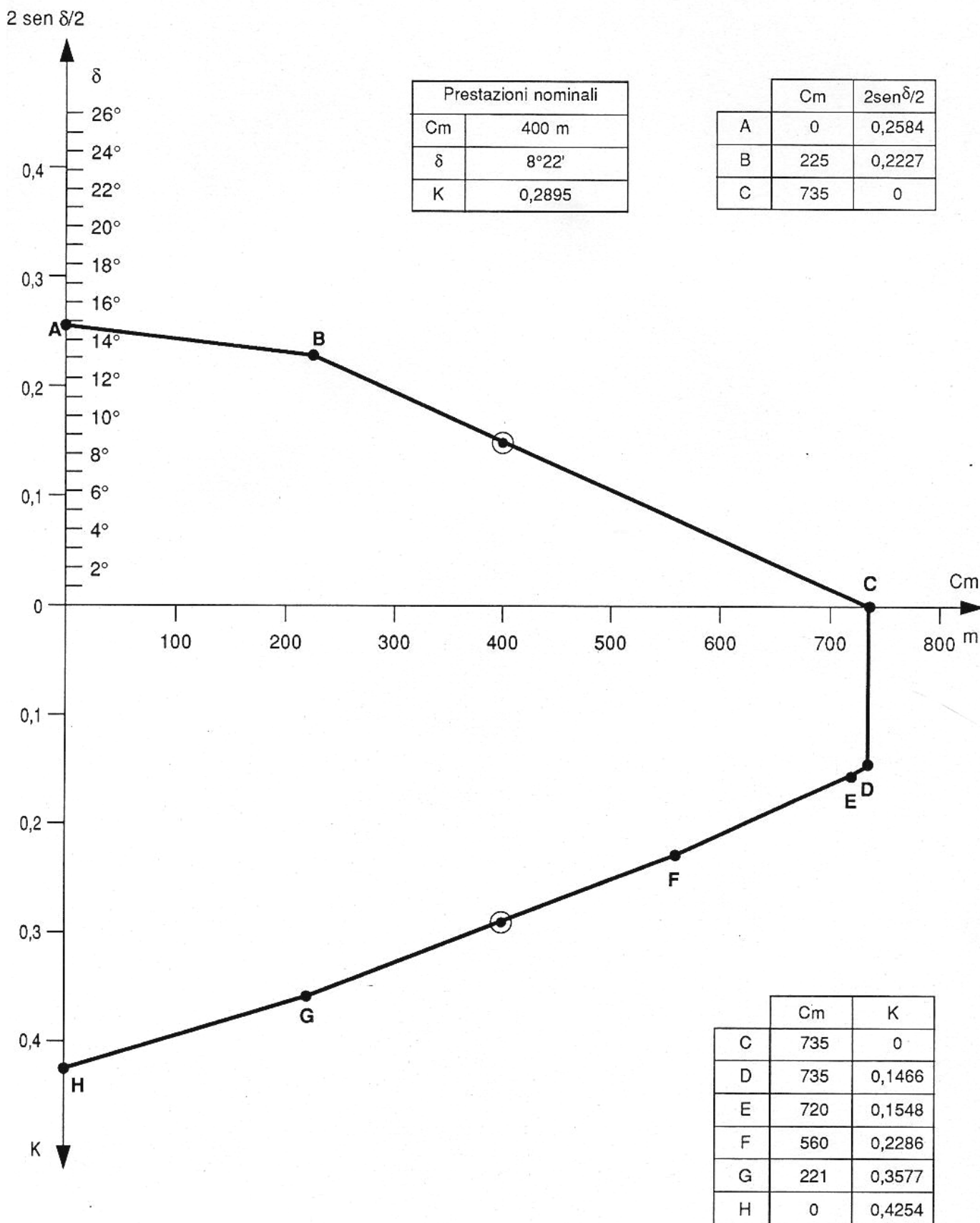
(\*) L'espressione di K è la seguente:

$$k = \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \quad (\text{vedi fig.1})$$

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  $(C_m, \delta)$  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  $(C_{m_i}, \delta, K_i)$  è necessario che i punti  $(C_{m_i}, \delta_i)$  e  $(C_{m_i}, K_i)$  siano compresi rispettivamente nei campi di utilizzazione trasversale e verticale.

3.3 AZIONI PER IL CALCOLO DEL SOSTEGNO

Sono state determinate le azioni esterne per il calcolo del sostegno in condizioni MSA ed MSB, sia nell'ipotesi di conduttori e corda di guardia integri (ipotesi normale), sia nell'ipotesi di rottura di conduttori e/o corde di guardia secondo quanto prescritto dalle norme (ipotesi eccezionale).

IPOTESI NORMALE

- Azioni trasversali e verticali:

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

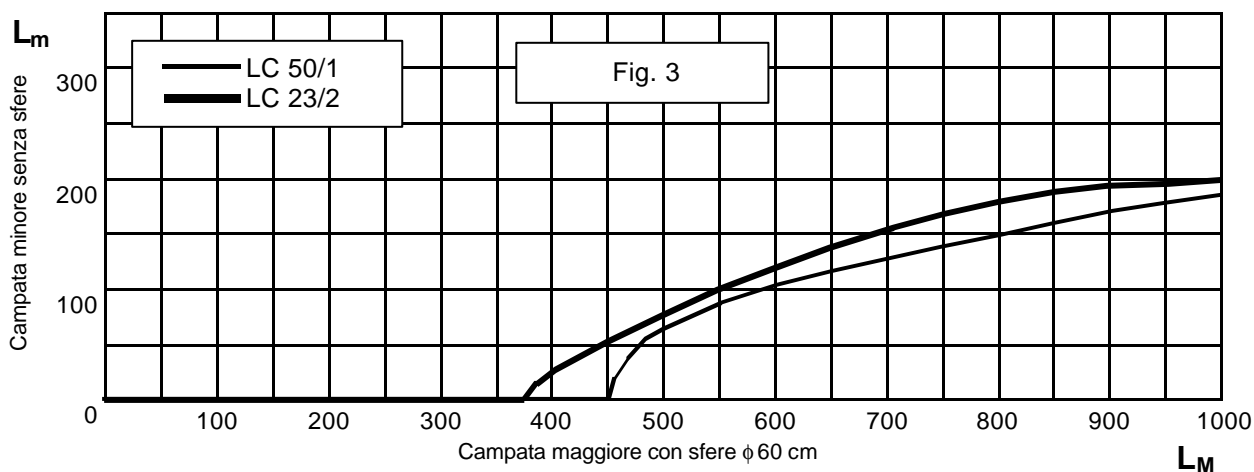
- Azioni longitudinali:

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 aerea per volo a bassa quota installate sulle corde di guardia con un intervallo  $\leq$  di 30 m.

Per ogni picchetto si dovrà perciò verificare mediante (1) che la 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 sono stati costruiti i diagrammi di fig. 3 relativi alle funi, con installate sfere di segnalazione aerea, che tengono conto dei massimi squilibri.

Riportando 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  $(L_M, L_m)$  sta al di sopra del diagramma la verifica è positiva poiché, lo squilibrio di tiro è minore di quello di calcolo. I diagrammi considerano la campata  $(L_M)$  con sfere di segnalazione aerea e  $(L_m)$  senza sfere di segnalazione aerea (condizione più gravosa)



IPOTESI ECCEZIONALE:

- Azioni trasversali e verticali:

per i conduttori i valori sono stati ottenuti moltiplicandi per 5/6 le corrispondenti azioni in ipotesi normale (tali valori non risultano esattamente i 5/6 in quanto nelle due ipotesi sono state mantenute costanti la spinta del vento su isolatori e morsetteria ( $t^*$ ) ed il loro peso ( $p^*$ )).

Per le corde di guardia i valori sono stati ottenuti invece dimezzando le corrispondenti azioni in ipotesi normale.

- Azioni longitudinali:

sono state assunte pari al tiro  $T_0$

VALORI DELLE AZIONI ESTERNE PER IL CALCOLO DEL SOSTEGNO

Sono riportati nella seguente tabella:

IPOTESI	STATO DEI CONDUTTORI	CONDUTTORE (*) LC 2/1			CORDA DI GUARDIA (*) LC 23/2			CORDA DI GUARDIA (*) LC 50/1		
		T	P	L	Tg	Pg	Lg	Tg	Pg	Lg
NORMALE	MSA (daN)	5096	7150	0	646 (827)	885 (1113)	500 (950)	929 (1133)	1170 (1387)	500 (950)
		5096	0	0	646 (827)	0	500 (950)	929 (1133)	0	500 (950)
	MSB (daN)	4914	10561	0	845 (897)	1521 (1670)	800 (1060)	968 (1035)	1869 (2034)	800 (1060)
		4914	0	0	845 (897)	0	800 (1060)	968 (1035)	0	800 (1060)
ECCEZIONALE (**)	MSA (daN)	4267	6009	5200	323 (414)	442 (556)	2080 (2613)	465 (567)	585 (693)	2750 (3260)
		4287	0	5200	323 (414)	0	2080 (2613)	465 (567)	0	2750 (3260)
	MSB (daN)	4100	8851	6300	422 (448)	760 (835)	3160 (3324)	484 (518)	934 (1017)	3600 (3832)
		4100	0	6300	422 (448)	0	3160 (3324)	484 (518)	0	3600 (3832)

I valori tra parentesi si riferiscono alle condizioni derivate con sfere di segnalazione per volo a bassa quota diametro 60 cm installate sull'intera campata (passo  $\leq$  30m).

- (\*) 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 quello (che per qualche asta può risultare più severo) di campata gravante nulla.
- (\*\*) Rottura di uno dei conduttori su due delle sei 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 corda di guardia) rotte.

Mediante le relazioni (2, 3, 4, 5) si può verificare che per tutte le terne di prestazioni geometriche ( $C_m$ ,  $\delta$ , K) tali che il punto ( $C_m$ ,  $\delta$ ) 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) nella condizione MSA e MSB risultino inferiori od 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 diametro 17,9 mm LC50/1 con installate le sfere di segnalazione per volo a bassa quota diametro 60 cm (valori tra parentesi). Per l'impiego di tipologie di corde incorporanti fibre ottiche, in alternativa a quella considerata, aventi lo stesso diametro esterno ma con caratteristiche meccaniche differenti, potrebbe essere necessario modificare il tiro orizzontale in EDS nel caso che il tiro orizzontale  $T_0$  in MSA e in MSB risulti superiore a quello riportato nella tabella al punto 3.1.