

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

UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO “C”

CALCOLO DELLE AZIONI ESTERNE SUL SOSTEGNO

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

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 CAST10 – Rev.0 del 31/03/2003**

IL PRESENTE DOCUMENTO SOSTITUISCE IL PRECEDENTE
ENEL DCO – AITC – I2L – **E038/R20**

1) CARATTERISTICHE GENERALI

Conduttore	All. Acc. \varnothing 31,5 mm (UE – LC2/1) (un fascio di tre conduttori per ciascuna fase)
Corda di guardia	Acciaio \varnothing 11,5 mm (LC23/2); Acc. - Lega All. - All. \varnothing 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 \leq 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 ²)	519,5	-	118,9 (*)
	ACCIAIO (mm ²)	65,8	78,94	57,7
	TOTALE (mm ²)	585,3	78,94	176,6
MASSA UNITARIA (Kg/m)		1,953	0,638	0,638
MODULO DI ELASTICITA' (N/mm ²)		68.000	175.000	175.000
COEFFICIENTE DI DILATAZIONE (1/°C)		19,4 X 10 ⁻⁶	11,5 X 10 ⁻⁶	11,5 X 10 ⁻⁶
CARICO DI ROTTURA (daN)		16.852	10.645	10.645

(*) 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
TIRO ORIZZONTALE T₀	(daN)	3.370	1.113	1.480

- 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:

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

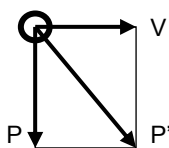
Ove:

- Θ_d = Temperatura della condizione derivata
- Θ_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^* = $\left\{ \begin{array}{l} 400 \text{ daN (MSA) spinta del vento su isolatori e morsetteria} \\ 100 \text{ daN (MSB) spinta del vento su isolatori e morsetteria} \end{array} \right.$
 p^* = 850 daN peso di isolatori e morsetteria
 T_0 = tiro orizzontale nel conduttore

I valori di T_0 sono riportati nella seguente tabella:

	CONDUTTORE	CORDA DI GUARDIA	CORDA DI GUARDIA
	LC 2/1	LC 23/2	LC 50/1
MSA (daN)	5.200	2.080 (2613)	2.750 (3260)
MSB (daN)	6.300	3.160 (3324)	3.600 (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 ≤ 30 m).

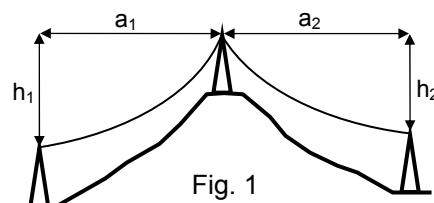
I suddetti tiri sono stati ottenuti mediante la equazione del cambiamento di stato e rappresentano i massimi valori che il tiro assume nella suddetta ipotesi:

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:

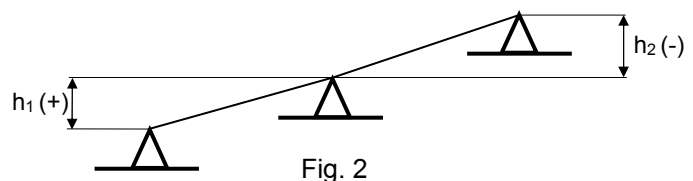
C_m = campata media
 δ = angolo di deviazione
 K = costante altimetrica (*)



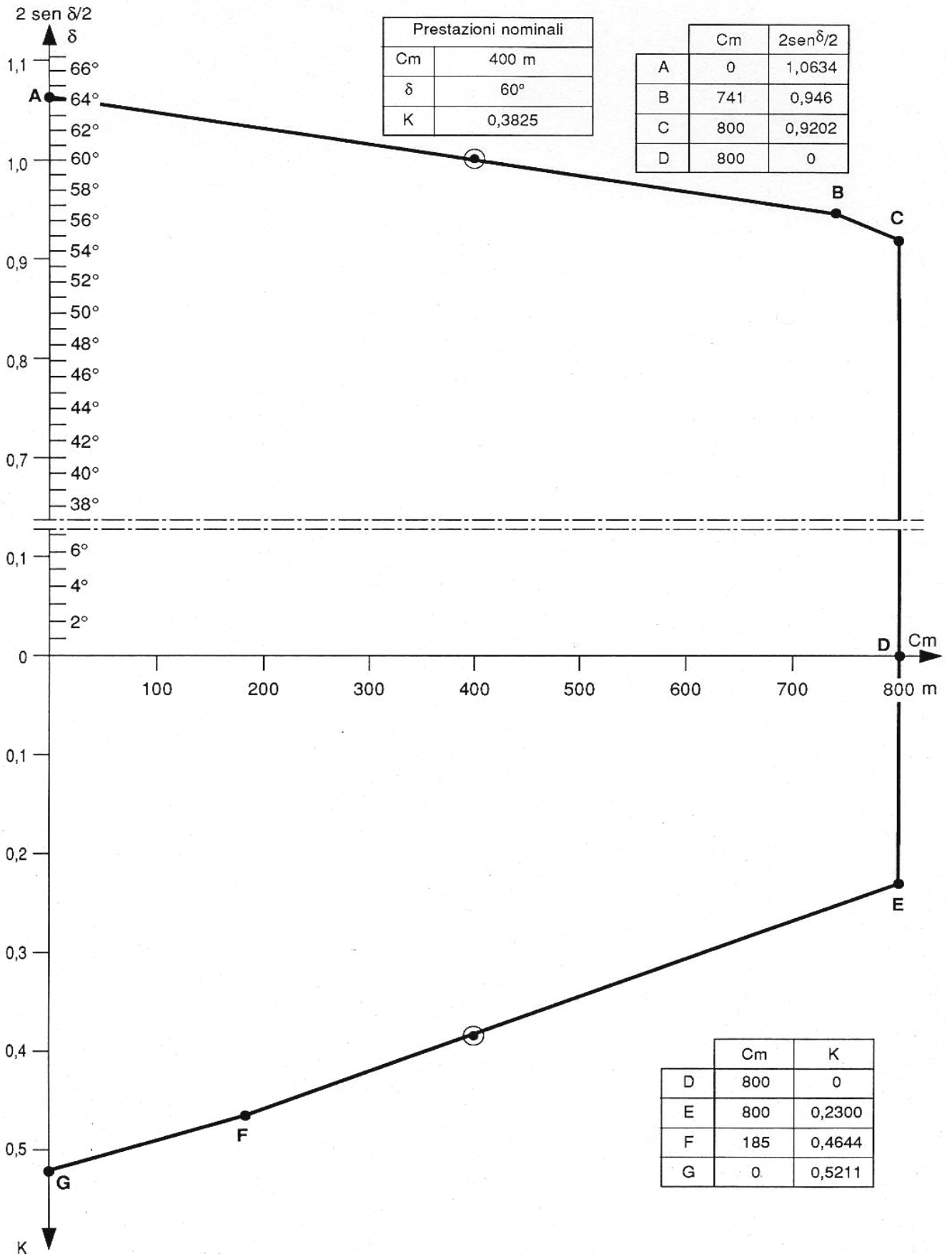
(*) L'espressione di K è la seguente:

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

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, 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 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:

Corda di guardia

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 disopra 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)

Conduttori

Per i conduttori è stato considerato uno squilibrio di tiro per tenere conto rispettivamente della diversa lunghezza delle campate adiacenti equivalenti delle due tratte adiacenti al sostegno.

Per ogni picchetto si dovrà perciò verificare mediante (1) che la effettiva differenza di tiro (in condizioni MSA e MSB), sia minore o eguale dei valori di squilibrio considerati per il calcolo del sostegno.

Riportando in ascisse la campata maggiore equivalente (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 disopra del diagramma la verifica è positiva poiché, lo squilibrio di tiro è minore di quello di calcolo.

Diagramma corda di guardia

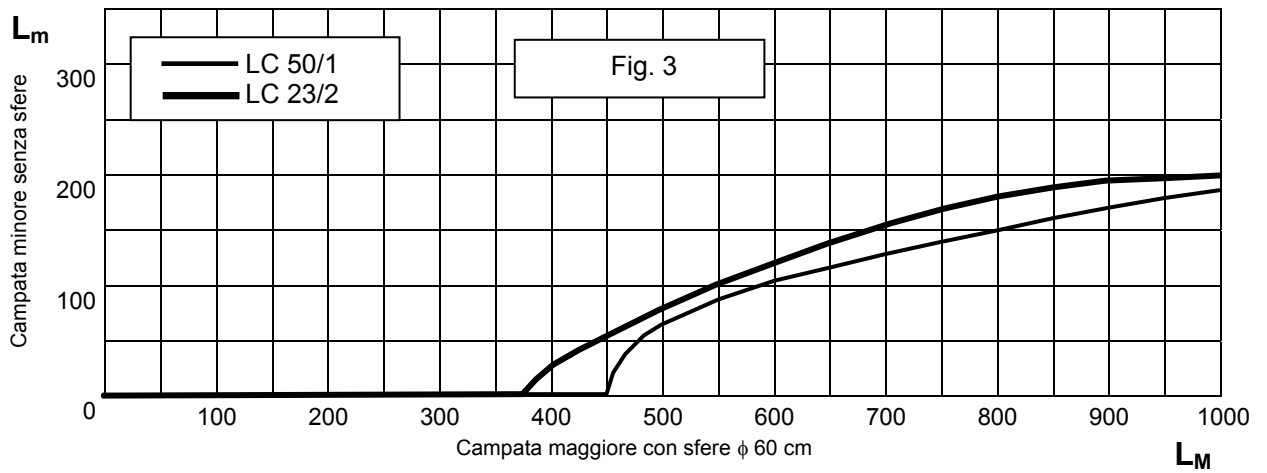
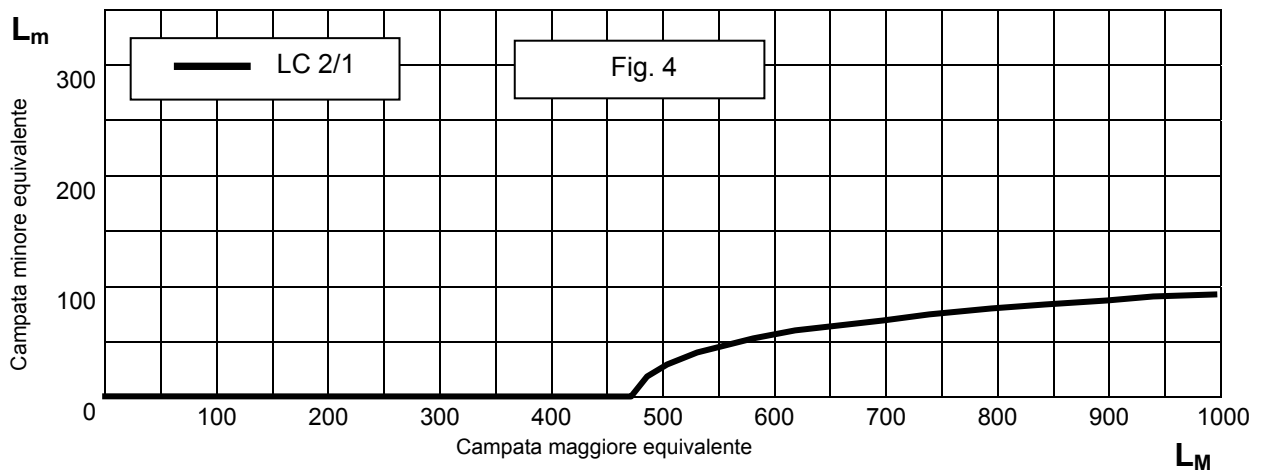


Diagramma del conduttore



IPOTESI ECCEZIONALE:

- Azioni trasversali e verticali:

per i conduttori i valori sono stati ottenuti moltiplicando 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)	20200	9195	625	2570 (3279)	1084 (1363)	500 (950)	3542 (4233)	1433 (1699)	500 (950)
		20200	0	625	2570 (3279)	0	500 (950)	3542 (4233)	0	500 (950)
	MSB (daN)	20200	13573	755	3454 (3661)	1867 (2049)	800 (1060)	3954 (4225)	2285 (2483)	800 (1060)
		20200	0	755	3454 (3661)	0	800 (1060)	3954 (4225)	0	800 (1060)
ECCEZIONALE (**)	MSA (daN)	16900	7804	5200	1285 (1640)	542 (681)	2080 (2613)	1771 (2117)	717 (850)	2750 (3260)
		16900	0	5200	1285 (1640)	0	2080 (2613)	1771 (2117)	0	2750 (3260)
	MSB (daN)	16850	11452	6300	1727 (1830)	934 (1024)	3160 (3324)	1977 (2113)	1143 (1242)	3600 (3832)
		16850	0	6300	1727 (1830)	0	3160 (3324)	1977 (2113)	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 , 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) nella condizione MSA e MSB risultino inferiori od eguali a quelle considerate per il calcolo del sostegno e riportate nella tabella precedente.

4 UTILIZZAZIONE MECCANICA DEL SOSTEGNO IMPIEGATO COME CAPOLINEA.

Il sostegno C viene impiegato anche come capolinea.

Qui di seguito viene riportato il diagramma di utilizzazione relativo a tale impiego.

In esso si è indicato con α l'angolo di derivazione della linea rispetto al piano di simmetria longitudinale del sostegno (v. fig. 5)

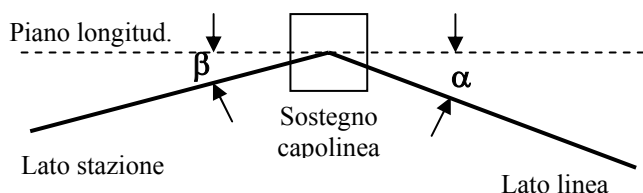
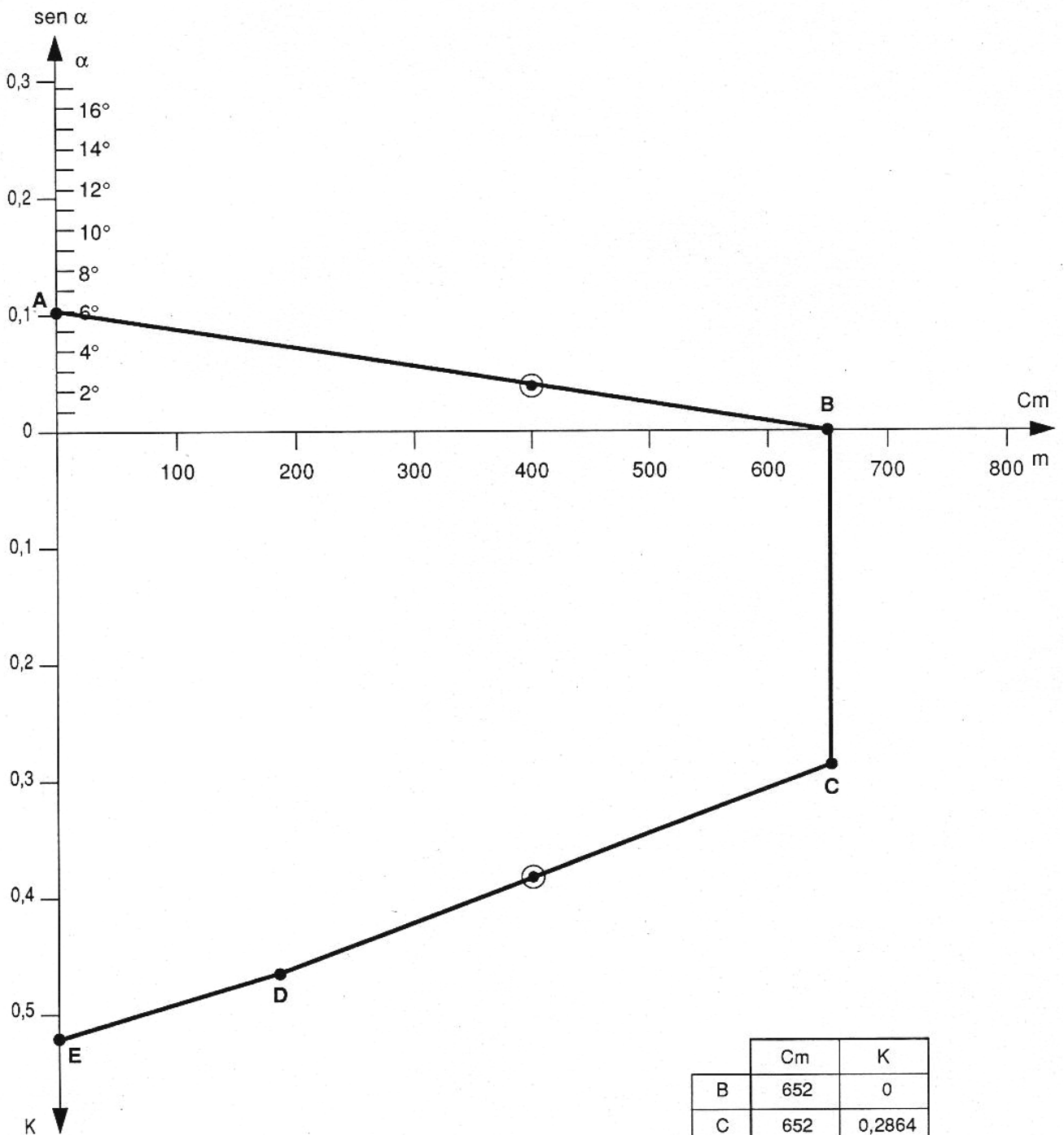


Fig. 5

4.1 DIAGRAMMA DI UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO "C CAPOLINEA"

Prestazioni nominali	
Cm	400 m
α	2°18'
K	0,3825

	Cm	sen α
A	0	0,1034
B	652	0



	Cm	K
B	652	0
C	652	0,2864
D	185	0,4644
E	0	0,5211

I valori delle azioni esterne per le quali il sostegno è stato verificato 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)	5225	9195	15600	990 (1616)	1084 (1363)	2080 (2613)	1292 (1923)	1433 (1699)	2750 (3260)
		5225	0	15600	990 (1616)	0	2080 (2613)	1292 (1923)	0	2750 (3260)
	MSB (daN)	2055	13573	18900	1094 (1397)	1867 (2049)	3160 (3324)	1154 (1453)	2285 (2483)	3600 (3832)
		2055	0	18900	1094 (1397)	0	3160 (3324)	1154 (1453)	0	3600 (3832)
ECCEZIONALE (**)	MSA (daN)	3616	6414	10400	0	0	0	0	0	0
		3616	0	10400	0	0	0	0	0	0
	MSB (daN)	1403	9332	12600	0	0	0	0	0	0
		1403	0	12600	0	0	0	0	0	0

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).

In una generica condizione di impiego del sostegno capolinea le azioni trasversali e longitudinali sono espresse dalle seguenti relazioni:

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l} \text{Conduttori} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{ll} \text{Azioni trasversali} & T = 3 v Cm + 3 T_0 \text{ sen } \alpha + t^* \quad (2') \\ \text{Azioni longitudinali} & T = 3 T_0 \text{ cos } \alpha + t^* \quad (3') \\ \\ \end{array} \\
 \left. \begin{array}{l} \text{Corde di guardia} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{ll} \text{Azioni trasversali} & T = v Cm + T_0 \text{ sen } \alpha \quad (4') \\ \text{Azioni longitudinali} & T = T_0 \text{ cos } \alpha \quad (5') \end{array}
 \end{array}$$

Si può verificare che, per tutte le prestazioni geometriche, (Cm, α) comprese nel "campo di utilizzazione trasversale", la somma dei valori T ed L ricavati mediante le relazioni (2', 3', 4', 5') (nelle condizioni di calcolo MSA e MSB) risulta inferiore od uguale alla somma dei valori T ed L riportati in tabella e relativi alla condizione d'impiego α = 0 cui corrisponde il massimo valore dell'azione longitudinale.

Per quanto riguarda le prestazioni verticali, esse sono rimaste invariate rispetto a quelle stabilite per il sostegno impiegato come amarro.

N.B. : Si noti ancora che il sostegno è stato calcolato considerando nullo il tiro nella campata di collegamento al portale (1) nella realtà tale tiro avrà invece un valore non nullo, benché modesto; ma ciò a favore della sicurezza, purché l'angolo β (v. fig. 4) non superi il valore di 45°.

Infatti, se T'₀ ≠ 0 è il tiro ridotto, le espressioni 2' e 3' diventano:

$$\begin{aligned}
 T &= 3 v Cm + 3 T_0 \text{ sen } \alpha + t^* + 2 T'_0 \text{ sen } \beta \\
 L &= 3 T_0 \text{ cos } \alpha - 2 T'_0 \text{ cos } \beta
 \end{aligned}$$

E quindi la somma T + L non supera il valore di calcolo finché rimanga:

$$\text{Sen } \beta \leq \text{cos } \beta \quad \text{ossia } \beta \leq 45^\circ$$

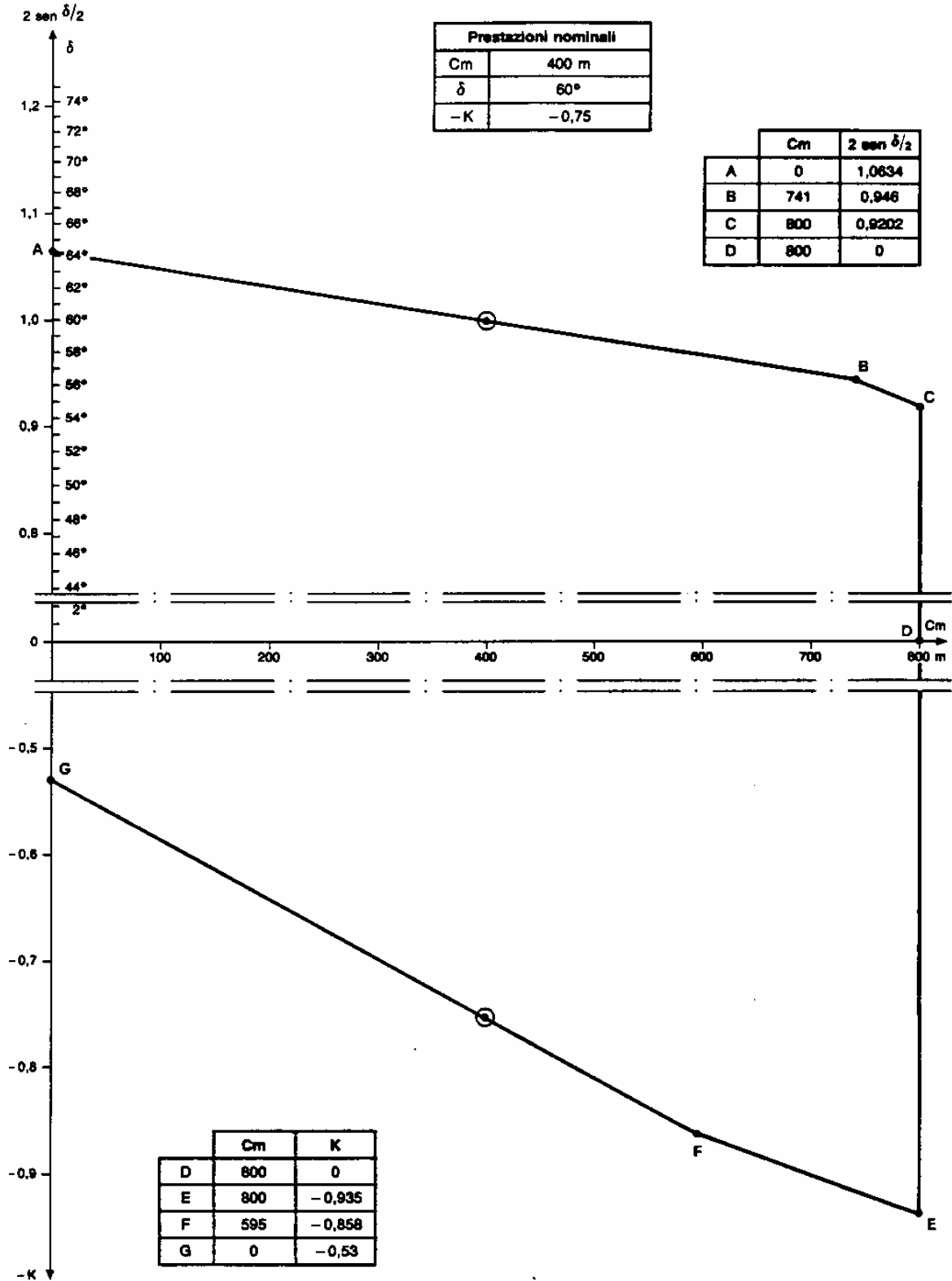
(1) Le campate di collegamento portale – capolinea vengono realizzate con conduttori binati in alluminio φ 36 mm.

5 IPOTESI DI CARICO VERTICALE NEGATIVO PER IL SOSTEGNO "C AMARRO".

Per il sostegno "C impiegato come amarro" è stata prevista anche la possibilità di utilizzazione con carico verticale negativo -P (tiro in alto).

Si è ottenuto in tal modo il diagramma di utilizzazione meccanica riportato qui di seguito riportato qui di seguito.

5.1 DIAGRAMMA DI UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO “C AMARRO” PER CARICO VERTICALE NEGATIVO.



I valori delle azioni esterne per la verifica del sostegno, in questo particolare impiego, 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)	20200	-9050	625	2570 (3279)	-1444 (-1799)	500 (950)	3542 (4233)	-1928 (-2261)	500 (950)
	MSB (daN)	20200	-9200	755	3454 (3661)	-1863 (-1897)	800 (1060)	3954 (4225)	-2005 (-2047)	800 (1060)
ECCEZIONALE	MSA (daN)	16900	-7400	5200	1285 (1640)	-722 (-899)	2080 (2613)	1771 (2117)	-964 (-1130)	2750 (3260)
	MSB (daN)	16850	-7525	6300	1727 (1830)	-932 (-948)	3160 (3324)	1977 (2113)	-1002 (-1048)	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).

6 IPOTESI DI CARICO VERTICALE NEGATIVO PER IL SOSTEGNO "C CAPOLINEA".

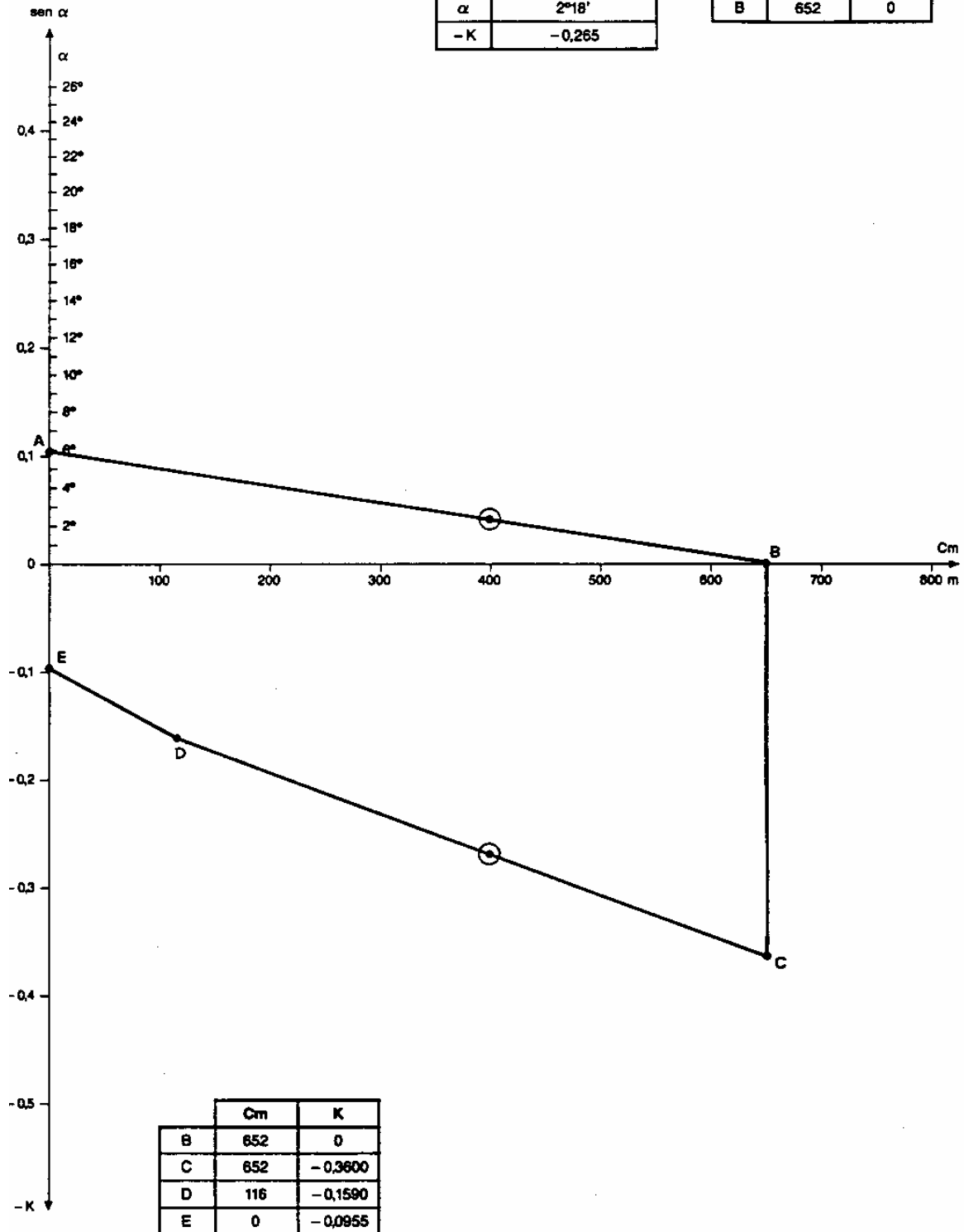
Per il sostegno "C impiegato come capolinea" è stata prevista anche la possibilità di utilizzazione con carico verticale negativo -P (tiro in alto).

Qui di seguito viene riportato il diagramma di utilizzazione meccanica

6.1 DIAGRAMMA DI UTILIZZAZIONE DEL SOSTEGNO "C CAPOLINEA" PER CARICO VERTICALE NEGATIVO.

Prestazioni nominali	
Cm	400 m
α	2°18'
-K	-0,265

	Cm	sen α
A	0	0,1034
B	652	0



I valori delle azioni esterne per la verifica del sostegno, in questo particolare impiego, 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)	5225	-1380	15600	990 (1616)	-341 (-415)	2080 (2613)	1292 (1923)	-466 (-532)	2750 (3260)
	MSB (daN)	2055	-1380	18900	1094 (1397)	-337 (-342)	3160 (3324)	1154 (1453)	-361 (-377)	3600 (3832)
ECCEZIONALE	MSA (daN)	3616	-780	10400	0	0	0	0	0	0
	MSB (daN)	1403	-780	12600	0	0	0	0	0	0

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).

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.