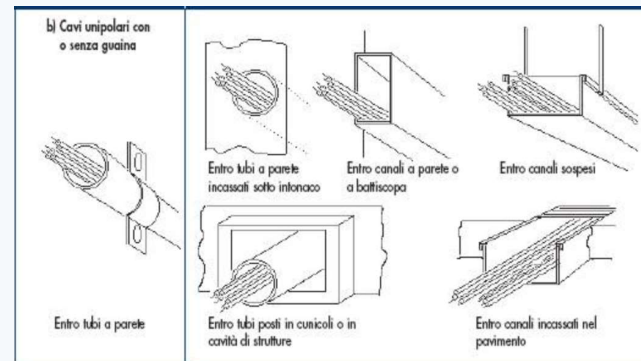
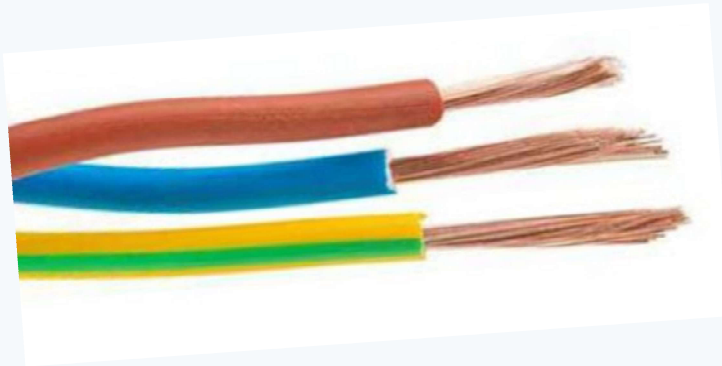


BREVE SINTESI SUL DIMENSIONAMENTO DEI CAVI DI BASSA TENSIONE PER POSA IN ARIA



- ☐ La corrente convenzionale di impiego I_B
- ☐ La portata effettiva I_Z
- ☐ La caduta di tensione sul cavo ΔU_C

Cos'è il **DIMENSIONAMENTO DI UN CAVO**?

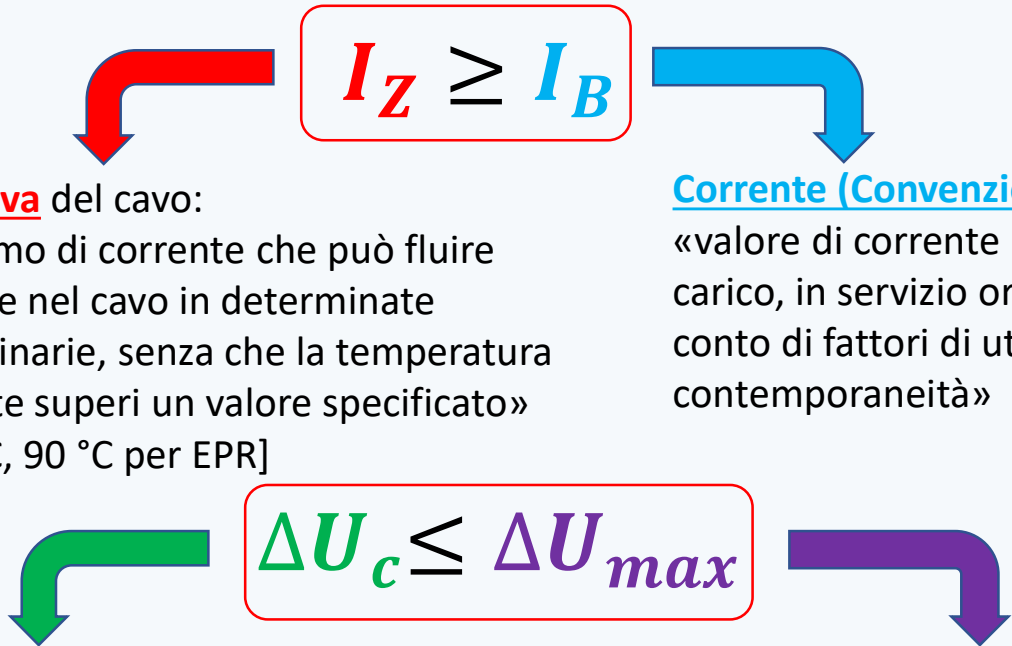
E' la scelta della sua SEZIONE NOMINALE fra quelle che sono normalizzate e commercialmente disponibili:

[da **1,5** mm² fino a **630** mm²]

Questa scelta dipende da **molti fattori** e **PRINCIPALMENTE** da:

- ❖ Il tipo di MATERIALE CONDUTTORE (Rame o Alluminio)
- ❖ Il tipo di cavo: UNIPOLARE o MULTIPOLARE
- ❖ Il numero di CONDUTTORI CARICATI (2 se monofase, 3 se trifase equilibrato)
- ❖ Il tipo di ISOLANTE PRINCIPALE: Termoplastico (PVC) o Elastomerico (EPR)
- ❖ Il tipo di POSA (in tubo in aria, a parete, su passerella, ecc.)
- ❖ La TEMPERATURA AMBIENTE
- ❖ Il RAGGRUPPAMENTO con ALTRI CIRCUITI
- ❖ La CADUTA DI TENSIONE massima ammissibile per la tratta del cavo

Una volta scelta la sua SEZIONE, il cavo deve superare almeno **DUE VERIFICHE**:


$$I_Z \geq I_B$$

Portata Effettiva del cavo:

«valore massimo di corrente che può fluire continuamente nel cavo in determinate condizioni ordinarie, senza che la temperatura del suo isolante superi un valore specificato»
[70° C per PVC, 90 °C per EPR]

Corrente (Convenzionale) di Impiego:

«valore di corrente richiesta dal carico, in servizio ordinario e tenendo conto di fattori di utilizzazione e contemporaneità»

$$\Delta U_c \leq \Delta U_{max}$$

Caduta di tensione sul Cavo:

«valore di caduta di tensione che si manifesta su una linea di lunghezza assegnata L e attraversata dalla sua corrente di impiego I_B »

Caduta di tensione ammissibile:

«massimo valore di caduta di tensione ammissibile per una specifica linea, ottenuto da un'eventuale ripartizione del **valore percentuale previsto per l'intero impianto**»

□ La corrente (convenzionale) di impiego I_B

Rappresenta il **dato di partenza** per iniziare la procedura di dimensionamento

Se non è direttamente assegnata, può essere ottenuta dal valore della **POTENZA CONVENZIONALE DI IMPIEGO P_C** di un carico

La P_C si ricava dalla
POTENZA ELETTRICA TOTALE P_E di
un carico o di un gruppo di carichi

$$P_C = P_E \cdot K_U \cdot K_C$$

- K_U : fattore di utilizzazione del singolo carico
- K_C : fattore di contemporaneità fra più carichi

mentre la Potenza Elettrica può essere facilmente ottenibile dai dati di targa (*) del carico, i dati di K_U e K_C sono **SPESSO INCERTI E DI DIFFICILE DETERMINAZIONE** e rappresentano la fase più problematica del dimensionamento, potendo condurre, in caso di scelta errata, o a una sottostima o a una sovrastima della I_B con conseguenze in ogni caso indesiderate;

possono
essere

Comunicati dal
CLIENTE/COMMITTENTE

Desunti da IMPIANTI
SIMILI già REALIZZATI

Tratti dalla
LETTERATURA TECNICA
(tabelle)

(*) si ricorda che per i motori il **dato di targa** rappresenta la
«**potenza meccanica** nominale resa all'asse» e pertanto per ottenere
la potenza elettrica occorre **dividere per il rendimento** nominale η

$$P_E = \frac{P_n}{\eta}$$

□ La corrente (convenzionale) di impiego I_B

Esempio di Tabella dei K_U e K_C

Tabella 7.1.1 Fattore di utilizzazione	
TIPO DI UTILIZZATORE	K_U
Lampade	1
Motori da 0,5 a 2 kW	0,7
Motori da 2 a 10 kW	0,75
Motori oltre i 10 kW	0,8
Forni a resistenza e a induzione	1
Raddrizzatori	1
Saldatrici	0,7 + 1
Stufe elettriche	1
Macchine utensili, trasportatori	0,6 + 0,8
Ascensori, montacarichi, impianti di sollevamento	0,8 + 1
Pompe, ventilatori	1

Tabella 7.1.2 Fattore di contemporaneità per impianti industriali		
TIPO DI UTILIZZATORE	NUMERO	K_C
Forni	fino a 2	1
Motori da 0,5 a 2 kW	fino a 10	0,6
	fino a 20	0,5
	fino a 50	0,4
	fino a 100	0,3
Motori da 2,5 a 10 kW	fino a 10	0,7
	fino a 50	0,45
	fino a 100	0,35
Motori da 10 a 30 kW	fino a 5	0,8
	fino a 10	0,65
	fino a 50	0,5
Motori oltre 30 kW	fino a 2	0,9
	fino a 5	0,7
	fino a 10	0,6
Raddrizzatori	fino a 10	0,8
Saldatrici elettriche	fino a 10	0,4
Ascensori e montacarichi in uffici e industrie	fino a 4	0,75
	fino a 10	0,6

ESEMPI:

- ① carico singolo con $P_E = 5 \text{ kW}$ e $K_U = 0,85$ (assegnato)

$$P_C = P_E \cdot K_U \cdot K_C = 5 \cdot 0,85 \cdot 1 = 4,25 \text{ kW}$$

($K_C = 1$ perché è carico singolo)

- ② singolo motore con $P_n = 7 \text{ kW}$ e $\eta = 0,82$

$$P_E = \frac{P_n}{\eta} = \frac{7}{0,82} = 8,54 \text{ kW}$$

$$P_C = P_E \cdot K_U \cdot K_C = 8,54 \cdot 0,75 \cdot 1 = 6,4 \text{ kW}$$

($K_C = 1$ perché è carico singolo)

- ③ insieme di 15 motori aventi $P_n = 1,5 \text{ kW}$ e $\eta = 0,90$

$$P_E = \frac{P_n}{\eta} = \frac{1,5}{0,90} = 1,7 \text{ kW} \quad (\text{singolo motore})$$

$$P_{E_{tot}} = n^{\circ}_{mot} \cdot P_E = 15 \cdot 1,7 = 25,5 \text{ kW}$$

$$P_C = P_{E_{tot}} \cdot K_U \cdot K_C = 25,5 \cdot 0,7 \cdot 0,5 = 8,93 \text{ kW}$$

□ La corrente (convenzionale) di impiego I_B

Una volta determinata la potenza convenzionale P_C e il fattore di potenza $\cos\varphi$ del carico, si calcola la I_B :

❖ Linea Monofase:
$$I_B = \frac{P_C}{U \cdot \cos\varphi} \quad [U=230 \text{ V}]$$

❖ Linea Trifase:
$$I_B = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \quad [U=400 \text{ V}]$$
 (se il carico trifase non è equilibrato, si sceglierà la corrente più elevata fra quelle di ciascuna fase)

ESEMPI:

① carico monofase con $P_C = 4,3 \text{ kW}$ e $\cos\varphi = 0,90$

$$I_B = \frac{P_C}{U \cdot \cos\varphi} = \frac{4300}{230 \cdot 0,90} = 20,8 \text{ A}$$

② carico trifase con $P_C = 9,75 \text{ kW}$ e $\cos\varphi = 0,85$

$$I_B = \frac{P_C}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{9750}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 16,6 \text{ A}$$

③ carico trifase squilibrato con:
$$\begin{cases} I_{B(L1)} = 23 \text{ A} \\ I_{B(L2)} = 15 \text{ A} \\ I_{B(L3)} = 26 \text{ A} \end{cases} \Rightarrow I_B = 26 \text{ A}$$

❏ La portata effettiva I_Z

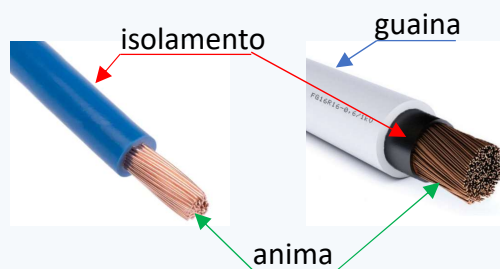
Occorre individuare o scegliere preliminarmente le **caratteristiche del cavo**, e in particolare:

- ❖ Il tipo di MATERIALE CONDUTTORE (Rame o Alluminio)

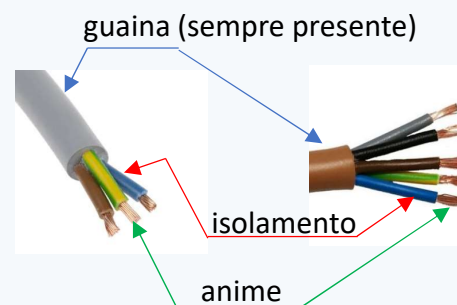
In genere si usano cavi **IN RAME**; se si scelgono cavi **IN ALLUMINIO**, la **portata è minore**: a parità di altre condizioni, la portata di un cavo in alluminio è il **78% di quella in rame**

- ❖ Il tipo di cavo: **UNIPOLARE** o **MULTIPOLARE**

Cavi UNIPOLARI (una sola anima)

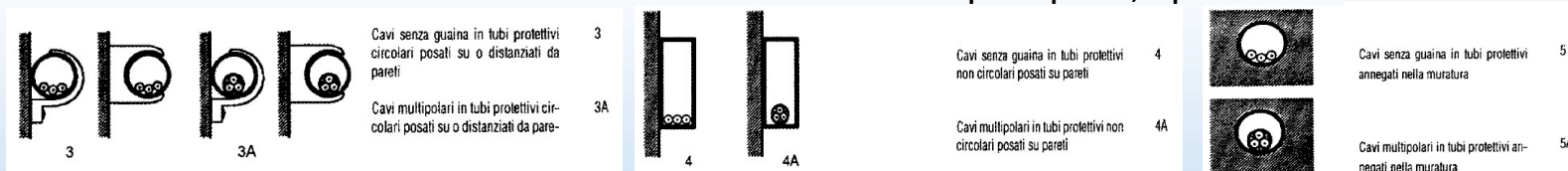


Cavi MULTIPOLARI (più anime)



- ❖ Il tipo di POSA (in tubo in aria, a parete, su passerella, ecc.)

La norma CEI 64-8 codifica mediante un numero i vari tipi di posa; i più comuni sono:



- ❖ Il tipo di **ISOLAMENTO PRINCIPALE**: Termoplastico (**PVC**) o Elastomerico (**EPR**)
- ❖ Il numero di **CONDUTTORI CARICATI** (**2** se monofase, **3** se trifase equilibrato)

□ La portata effettiva I_Z

Successivamente, partendo dalle caratteristiche del cavo, si individua nelle tabelle della norma CEI-UNEL 35024 il valore della **PORTATA TEORICA** $I_0 \geq I_B$ e si risale alla **sezione S**

Tabella 1 – Cavi unipolari (*)

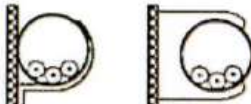
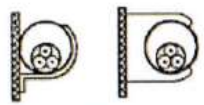
Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A)																		
				Sezione (mm ²)																		
				(****)	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
 Cavi in tubo in aria	3-4-5-22 23-24-31-32- 33-34-41-42- 72	Termoplastico (**)	2	13,5	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	-	-	-
			3	12	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239	275	314	369	-	-	-
		Elastomerico (***)	2	17	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	472	555	-	-	-
			3	15	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	417	490	-	-	-

Tabella 2 – Cavi multipolari

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A)																
				Sezione (mm ²)																
				1(*)	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
 Cavo in tubo in aria	3A-4A-21- 22A-5A-24A- 25-33A-31- 34A-43-32	Termoplastico (**)	2	13,5	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133	168	201	232	258	294	344	394
			3	12	15	20	27	34	46	62	80	99	118	149	179	206	225	255	297	339
		Elastomerico (***)	2	17	22	30	40	51	69	91	119	146	175	221	265	305	334	384	459	532
			3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154	194	233	268	300	340	398	455

□ La portata effettiva I_Z

Esempio:

- A) CAVO UNIPOLARE
 - B) IN POSA 3
 - C) ISOLATO IN EPR
 - D) MONOFASE
- $I_B = 35 \text{ A}$

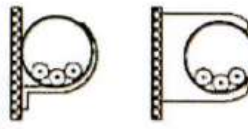


$$I_0 = 42 \text{ A}$$

$$(I_0 \geq I_B)$$

$$S = 4 \text{ mm}^2$$

Tabella 1 – Cavi unipolari (*)

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A)																		
				(****)	Sezione (mm ²)																	
					1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
 Cavi in tubo in aria	3-4-5-22 23-24-31-32- 33-34-41-42- 72	Termoplastico (**)	2	13,5	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	-	-	-
			3	12	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239	275	314	369	-	-	-
		Elastomerico (***)	2	17	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	472	555	-	-	-
			3	15	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	417	490	-	-	-

□ La portata effettiva I_Z

Ora occorre però calcolare (o verificare) la **PORTATA EFFETTIVA** I_Z

Infatti si deve tenere conto di:

➤ **Temperatura Ambiente T_a**

Maggiore è la T_a e più difficile risulta la dissipazione del calore prodotto nel cavo per effetto Joule, mentre se la T_a è più bassa il calore viene dissipato più facilmente. Per tenerne conto la norma definisce un **fattore di correzione** k_1

	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
Cavi in PVC	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71
Cavi in EPR	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82

➤ **Raggruppamento in fascio**

Se più circuiti sono installati in fascio, il calore prodotto da ciascuno di essi va peggiorare la situazione termica del circuito in esame. Per tenerne conto la norma definisce un **fattore di correzione** k_2

	N° di circuiti o di cavi multipolari							
	1	2	3	4	5	6	7	8
k_2 per fascio	1	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52

Questa tabella è valida se le sezioni dei cavi sono «simili» (tre sezioni commerciali adiacenti)

Altrimenti si usa la formula $k_2 = \frac{1}{\sqrt{n}}$ n: numero dei circuiti

□ La portata effettiva I_Z

La **PORTATA EFFETTIVA** I_Z si calcola con l'espressione:

$$I_Z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2$$

Occorre ora **sottoporre il risultato alla verifica** già citata:

$$I_Z \geq I_B$$

Se tale verifica è SODDISFATTA, la Sezione individuata viene CONFERMATA e si procede al calcolo e verifica della CADUTA DI TENSIONE; altrimenti occorre passare al valore di Sezione immediatamente superiore e ripetere la procedura di calcolo fino a quando la verifica non va a buon fine

Con riferimento all'esempio precedente ($I_B = 35 \text{ A} \rightarrow S = 4 \text{ mm}^2$ e $I_0 = 42 \text{ A}$), se risulta:

➤ $T_a = 35 \text{ °C}$ e Raggruppamento in fascio di 3 circuiti con sezioni «simili»

	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C
Cavi in PVC	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71
Cavi in EPR	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82

$$\Rightarrow k_1 = 0,96$$

	N° di circuiti o di cavi multipolari							
	1	2	3	4	5	6	7	8
K_2 per fascio	1	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52

$$\Rightarrow k_2 = 0,70$$

$$I_Z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 42 \cdot 0,96 \cdot 0,70 = 28,2 \text{ A}$$



essendo $I_Z < I_B$ occorre aumentare S

Quindi:

di installazione		Rit.	isolamento	caricati	(****)	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25
Cavi in tubo in aria		Appendice A											
		3-4-5-22	Termoplastico	2	13,5	17,5	24	31	41	57	76	100	135
		23-24-31-32-	(**)	3	12	15,5	21	28	35	50	68	88	110
		33-34-41-42-											
		72	Elastomerico	2	17	23	31	42	54	75	100	135	175
			(***)	3	15	20	28	37	48	66	88	110	140

$\rightarrow S = 6 \text{ mm}^2$ e $I_0 = 54 \text{ A}$

$$I_Z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 = 54 \cdot 0,96 \cdot 0,70 = 36,3 \text{ A}$$

essendo $I_Z \geq I_B$ la S è CONFERMATA

❑ La caduta di tensione

Per effetto del passaggio della **corrente I_b** , nel cavo si manifesta (per la **legge di Ohm**) una **CADUTA DI TENSIONE** a causa della **resistenza R** e della **reattanza X** del cavo.

Tale caduta di tensione va **limitata** per evitare malfunzionamenti del carico alimentato (per esempio i motori non si avviano o stentano ad avviarsi allungando il transitorio, le apparecchiature elettroniche possono subire danneggiamenti, ecc.)

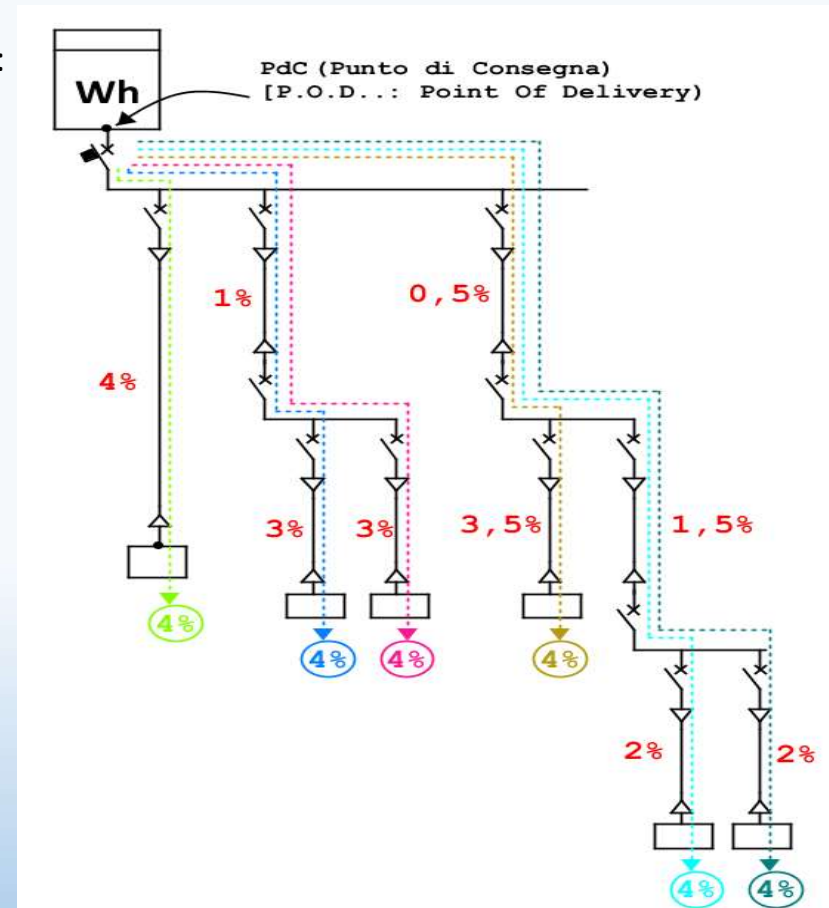
la Norma CEI 64-8 raccomanda di **non superare il 4% della tensione nominale**, tra il punto di consegna e qualsiasi carico

Esempio:

Occorre pertanto **RIPARTIRE** tale 4% **lungo i percorsi** che portano dal PUNTO DI CONSEGNA (PdC) (morsetti del contatore di energia) fino ai CARICHI

Note:

- La ripartizione deve assicurare che il 4% non venga superato sommandosi lungo QUALSIASI PERCORSO dal PdC a qualunque singolo carico
- È buona regola attribuire **cadute percentuali piccole nelle linee iniziali e intermedie**, lasciando alle linee terminali valori più alti (in tal modo si cerca di **evitare che le sezioni terminali abbiano sezioni più elevate delle linee montanti**)



□ La caduta di tensione

Per ogni linea si definisce dunque una **CADUTA DI TENSIONE** massima ammissibile in base al valore % ad essa attribuito:

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta U_{max \%}}{100} \cdot U_n \quad \text{con } U_n: \text{ tensione nominale della linea} =$$

Esempio: linea **monofase** con $\Delta U_{max \%} = 3\%$ $\rightarrow \Delta U_{max} = \frac{3}{100} \cdot 230 = 6,9 \text{ V}$

Occorre ora verificare se la linea in esame presenta una **CADUTA DI TENSIONE** ΔU_c inferiore a tale valore **massimo ammissibile**. Per i cavi essa può essere calcolata con l'espressione:

$$\Delta U_c = \frac{m \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) \cdot I_B \cdot L}{1000}$$

o anche con:

$$\Delta U_c = \frac{k \cdot I_B \cdot L}{1000}$$

dove $k = m \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi)$
(caduta di tensione unitaria)

con

- m : coefficiente = $\begin{cases} 2 & \text{(linea monofase)} \\ \sqrt{3} & \text{(linea trifase)} \end{cases}$
- R e X : resistenza e reattanza del cavo, espresse in Ω/km
- $\cos\varphi$: fattore di potenza del carico
- I_B : corrente convenzionale di impiego
- L : lunghezza della linea (in metri)

I valori di R , X sono riportati nelle tabelle CEI UNEL 35023, dove sono anche indicati i valori di k già calcolati per valori di $\cos\varphi$ da 0,7 a 1

❑ La caduta di tensione

Applicando al nostro esempio:

$I_B = 35$ A, ipotizzando $\cos\varphi = 0,9$ e $L = 20$ m, con $\Delta U_{\max\%} = 3\%$, e $S = 6$ mm² monofase per cavo unipolare in EPR:

Tabella 1 – Cavi con conduttori in rame rosso isolati in materiale elastomero

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Sezione nominale	Resistenza R a 90°C		Reattanza X (v. art. 3)	Cavi unipolari CADUTE DI TENSIONE ΔU (v. art. 3 e 4)										Re (v.	
	Corrente continua	Corrente alternata		Corrente continua	Corrente alternata										
					monofase					trifase					
					$\cos\varphi 0,7$	$\cos\varphi 0,8$	$\cos\varphi 0,9$	$\cos\varphi 1$	$\cos\varphi 0,7$	$\cos\varphi 0,8$	$\cos\varphi 0,9$	$\cos\varphi 1$			
					mm ²	Ω/km	Ω/km	Ω/km	mV/A	mV/A	mV/A	mV/A	mV/A		mV/A
1,5	16,96		0,144	33,92	23,95	27,31	30,65	33,92	20,71	23,62	26,51	29,34	0,1		
2,5	10,17		0,132	20,35	14,43	16,44	18,43	20,35	12,48	14,22	15,94	17,60	0,1		
4	6,31		0,122	12,62	9,01	10,24	11,47	12,62	7,79	8,86	9,92	10,92	0,1		
6	4,21		0,114	8,42	6,05	6,87	7,67	8,42	5,24	5,94	6,64	7,28	0,1		
10	2,44		0,105	4,87	3,56	4,02	4,48	4,87	3,08	3,48	3,87	4,21	0,1		
16	1,54		0,098	3,09	2,30	2,59	2,86	3,09	1,99	2,24	2,48	2,67	0,1		
25	0,99		0,093	1,99	1,53	1,70	1,87	1,99	1,32	1,47	1,62	1,72	0,1		
35	0,71		0,089	1,41	1,12	1,24	1,35	1,41	0,97	1,07	1,17	1,22	0,1		

Si individuano i seguenti valori

$$R = 4,21 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X = 0,114 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$k = 7,67 \frac{\text{mV}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Quindi: $\Delta U_{\max} = \frac{3}{100} \cdot 230 = 6,9 \text{ V}$

$$\Delta U_c = \frac{k \cdot I_B \cdot L}{1000} = \frac{7,67 \cdot 35 \cdot 20}{1000} = 5,4 \text{ V}$$



verifica:

$$\Delta U_c \leq \Delta U_{\max}$$

(5,4 ≤ 6,9)

Si conclude pertanto che la sezione da 6 mm², rispetta sia la **verifica di portata** sia la **verifica di caduta di tensione** e dunque è **correttamente dimensionata** (*)

(*) potremmo doverla modificare per protezione contro le sovracorrenti, ma questa è un'altra storia...

□ La caduta di tensione

Note:

- ❖ Il valore tabellato di $k = 7,67 \frac{mV}{A \cdot m}$ valido per $\cos\varphi = 0,90$ si sarebbe potuto ottenere anche con l'espressione:

$$k = m \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \sin\varphi) = 2 \cdot (4,21 \cdot 0,90 + 0,114 \cdot 0,435) \cong 7,67 \frac{mV}{A \cdot m}$$

- ❖ Se il $\cos\varphi$ assume valori intermedi fra quelli tabellati (per esempio 0,85) il valore di k può essere ricavato come media fra i valori k tabellati adiacenti, altrimenti si può sempre ricorrere alla formula completa
- ❖ Le formule per il calcolo della caduta di tensione sono approssimate e mantengono la loro validità per valori di $\cos\varphi$ non inferiori a 0,7 (cosa che è ipotizzabile per la grande maggioranza dei carichi)
- ❖ La ripartizione percentuale della caduta di tensione lungo la distribuzione dell'impianto non è predeterminata da regole fisse ma in genere è dettata dall'esperienza (e anche, al giorno d'oggi, dai software applicativi). In genere si tiene conto del fatto che le linee montanti hanno in genere correnti più elevate e lunghezze maggiori, rispetto alle linee terminali. Pertanto alle linee montanti in genere si associa una caduta percentuale contenuta, lasciandone la maggior parte alle linee terminali.

□ Dimensionamento: ESERCIZIO

Dimensionare la sezione di una linea trifase, alimentante un carico con $I_B = 24 \text{ A}$ e $\cos\varphi=0,90$, costituita da cavo multipolare in PVC, posato entro canaletta a parete (posa 4A), alla temperatura ambiente di 30°C assieme ad un altro circuito; la linea sia lunga 35 m e sia $\Delta U_{\max} = 2,5\%$

SVOLGIMENTO

- Dalle tabelle di portata e dai fattori di correzione si ricavano:

Tabella 2 – Cavi multipolari

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A)									
				Sezione (mm²)									
				1(*)	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
 Cavo in tubo in aria	3A-4A-21-22A-5A-24A-25-33A-31-34A-43-32	Termoplastico (**)	2	13,5	16,5	23	30	38	52	69	90	111	133
			3	12	15	20	27	34	46	62	80	99	118
		Elastomerico (***)	2	17	22	30	40	51	69	91	119	146	175
			3	15	19,5	26	35	44	60	80	105	128	154

fattore k_1	30°C
Cavi in PVC	1

N° circuiti	2
K_2 per fascio	0,80

$$I_0 = 26 \text{ A} \quad S = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow I_Z = 26 \cdot 1 \cdot 0,80 = 20,8 \text{ A} \quad \textbf{NON IDONEA} \quad (\text{è minore di } I_B = 24 \text{ A})$$

$$I_0 = 34 \text{ A} \quad S = 6 \text{ mm}^2 \rightarrow I_Z = 34 \cdot 1 \cdot 0,80 = 27,2 \text{ A} \quad \textbf{IDONEA} \quad (\text{è maggiore di } I_B = 24 \text{ A})$$

- Verifica della caduta di tensione:

$$\Delta U_{\max} = \frac{2,5}{100} \cdot 400 = 10 \text{ V}$$

$$\Delta U_C = \frac{6,24 \cdot 24 \cdot 35}{1000} = 5,2 \text{ V} < \Delta U_{\max}$$

DAD – sebage – 3B m.a.t.

Tabella 2 – Cavi con conduttori in rame rosso isolati con materiale termoplastico

Sezione nominale	Resistenza R a 70°C		Reattanza X (v. art. 3)	Cavi unipolari							
	Corrente continua	Corrente alternata		CADUTE DI TENSIONE							
				Corrente continua	ΔU (v. art. 3 e 4)						
					Corrente alternata						
					monofase						
mm²	Ω/km	Ω/km	Ω/km	mV/A	cosφ0,7 mV/A	cosφ0,8 mV/A	cosφ0,9 mV/A	cosφ1 mV/A	cosφ0,7 mV/A	cosφ0,8 mV/A	cosφ0,9 mV/A
1,5	15,91	0,145	31,83	22,49	25,63	28,77	31,83	19,45	22,17	24,89	27,61
2,5	9,55	0,132	19,10	13,56	15,43	17,30	19,10	11,73	13,35	14,97	16,59
4	5,92	0,127	11,84	8,47	9,63	10,77	11,84	7,33	8,33	9,32	10,32
6	3,95	0,119	7,90	5,70	6,46	7,21	7,90	4,93	5,59	6,24	6,89
10	2,29	0,110	4,57	3,36	3,79	4,21	4,57	2,90	3,28	3,64	3,99
16	1,45	0,102	2,90	2,17	2,44	2,69	2,90	1,88	2,11	2,33	2,55
25	0,88	0,093	1,67	1,25	1,41	1,56	1,67	1,05	1,18	1,30	1,42

$$k = 6,24 \frac{\text{mV}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

❑ Dimensionamento: un piccolo trucco...

Come si può procedere a individuare subito la sezione corretta **SENZA DOVER CAMBIARE VALORI** ?

Poiché **entrambe le verifiche** devono essere rispettate, si può ragionare in questo modo:

➤ Calcolo una **PORTATA TEORICA MINIMA** $I_{0 \min} = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2}$

e, usando questo valore, dalle tabelle individuo un valore $I_0 \geq I_{0 \min}$ e quindi una **SEZIONE MINIMA DI PORTATA** S_P

➤ Calcolo una **CADUTA DI TENSIONE UNITARIA MASSIMA** $k_{\max} = \frac{\Delta U_{\max} \cdot 1000}{I_B \cdot L}$

e, usando questo valore, dalle tabelle individuo un valore $k \leq k_{\max}$ e quindi una **SEZIONE MINIMA DI CADUTA** S_C

Infine, **fra le due sezioni, SCELGO LA PIU' GRANDE** E IL GIOCO è FATTO!

Provare per credere: cavo multipolare trifase in PVC, $T_a = 35^\circ\text{C}$ ($k_1 = 0,94$) e quattro circuiti ($k_2 = 0,65$), con $I_B = 30\text{ A}$
 $\cos\varphi = 0,90$ $L = 50\text{ m}$ e $\Delta U_{\max\%} = 1,5\%$ ($\Delta U_{\max} = 6\text{ V}$)

$$I_{0 \min} = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2} = \frac{30}{0,94 \cdot 0,65} = 49,1\text{ A} \quad \Rightarrow \quad I_0 = 62\text{ A} \quad S_P = 16\text{ mm}^2$$

$$k_{\max} = \frac{\Delta U_{\max} \cdot 1000}{I_B \cdot L} = \frac{6 \cdot 1000}{30 \cdot 50} = 4 \frac{\text{mV}}{\text{Am}} \quad \Rightarrow \quad k = 3,64 \frac{\text{mV}}{\text{Am}} \quad S_C = 10\text{ mm}^2$$

$S = 16\text{ mm}^2$

Per gli «increduli»: la controprova è dimensionare con la solita procedura (che rimane comunque corretta)

□ Appendice 1: come trovare i valori di **portata I_0** e **sezione S** all'interno delle tabelle?

Semplicemente, si procede **per esclusione**, come se fosse un setaccio.

Esempio: individuare la **portata teorica I_0** e la **sezione** di un cavo **unipolare** in **PVC** per una linea **trifase**, **posa 4**, $I_B = 30$ A

Tabella 1 – Cavi unipolari (*)

Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa Rif. Appendice A	Tipo di isolamento	Numero cond. caricati	Portata (A)																			
				Sezione (mm ²)																			
				(****)	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
 Cavi in tubo incassato in parete isolante	1-51-71 73-74	Termoplastico (**)	2	–	14,5	19,5	26	34	46	61	80	99	119	151	182	210	240	273	320	–	–	–	–
			3	–	13,5	18	24	31	42	56	73	89	108	136	164	188	216	245	286	–	–	–	–
		Elastomerico (***)	2	–	19	26	36	45	61	81	106	131	158	200	241	278	318	362	424	–	–	–	–
			3	–	17	23	31	40	54	73	95	117	141	179	216	249	285	324	380	–	–	–	–
 Cavi in tubo in aria	3-4-5-22 23-24-31-32- 33-34-41-42- 72	Termoplastico (**)	2	13,5	17,5	24	32	41	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	–	–	–	–
			3	12	15,5	21	28	36	50	68	89	110	134	171	207	239	275	314	369	–	–	–	–
		Elastomerico (***)	2	17	23	31	42	54	75	100	133	164	198	253	306	354	402	472	555	–	–	–	–
			3	15	20	28	37	48	66	88	117	144	175	222	269	312	355	417	490	–	–	–	–
 Cavi in aria libera in posizione non a portata di mano	18	Termoplastico (**)	2	–	19,5	26	35	46	63	85	112	138	168	213	258	299	344	392	461	–	–	–	–
			3	–	15,5	21	28	36	57	76	101	125	151	192	232	269	309	353	415	–	–	–	–
		Elastomerico (***)	2	–	24	33	45	58	80	107	142	175	212	270	327	–	–	–	–	–	–	–	–
			3	–	20	28	37	48	71	96	127	157	190	242	293	–	–	–	–	–	–	–	–

- 1) **Scelgo la tabella di portate dei cavi unipolari**
- 2) **Elimino tutte le righe che non contengono posa 4**
- 3) **Elimino le righe con non sono allineate su PVC**
(Termoplastico)
- 4) **Elimino le righe che non sono allineate su 3 conduttori caricati**
- 5) **Elimino le colonne che non presentano $I_0 \geq I_B$**

Il primo risultato utile che trovo ($I_0 = 36$ A corrispondente alla sezione $S = 6$ mm²) è quello che cercavo

□ Appendice 2: come trovare i valori di k all'interno delle tabelle?

In modo simile si procede per la caduta di tensione.

Esempio: individuare la di **caduta di tensione unitaria k** per cavo multipolare in **EPR**, **trifase**, **S = 10 mm²** e **cosφ=0,80**

Sezione nominale	Resistenza R a 90°C		Reattanza X (v. art. 3)	Cavi unipolari												Reattanza X (v. art. 3)	Cavi bipolari												Reattanza X (v. art. 3)	Cavi tripolari				Sezione nominale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	Corrente continua	Corrente alternata		CADUTE DI TENSIONE ΔU (v. art. 3 e 4)													CADUTE DI TENSIONE ΔU (v. art. 3 e 4)													CADUTE DI TENSIONE ΔU (v. art. 3 e 4)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				Corrente alternata													Corrente alternata													Corrente alternata																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				monofase													monofase													monofase																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				cosφ 0,7	cosφ 0,8	cosφ 0,9	cosφ 1	cosφ 0,7	cosφ 0,8	cosφ 0,9	cosφ 1	cosφ 0,7	cosφ 0,8	cosφ 0,9	cosφ 1		cosφ 0,7	cosφ 0,8	cosφ 0,9	cosφ 1	cosφ 0,7	cosφ 0,8	cosφ 0,9	cosφ 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
mm²	Q/km	Q/km	Q/km	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	Q/km	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	Q/km	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m	mV/A/m

- 1) **Scelgo la tabella dei cavi in EPR**
- 2) **Elimino tutte le colonne che non sono tripolari**
- 3) **Elimino le colonne che non sono sotto cosφ=0,80**
- 4) **Elimino le righe che non sono allineate su S = 10 mm²**

Incrociando (come a «battaglia navale») la colonna di cosφ e la riga di S, trovo il valore cercato: **k = 3,45 mV/Am**

Buon **A.I.C.A.S.** a tutti