

# **IMPIANTI E SICUREZZA ELETTRICA**

- **Sistemi ed impianti elettrici**
- **La messa a terra negli impianti elettrici in BT**
- **La pericolosità della corrente elettrica**
- **Le misure di protezione contro i contatti accidentali**
- **Elementi di progettazione**

# **Sistemi ed impianti elettrici**

**Sistemi ed impianti elettrici**

**Struttura del sistema elettrico**

**Rete elettrica a 220 e 380 kV**

**Area operativa territoriale: 6 – Roma**

**Aree operative territoriali – GRTN**

**Copertura del diagramma di carico**

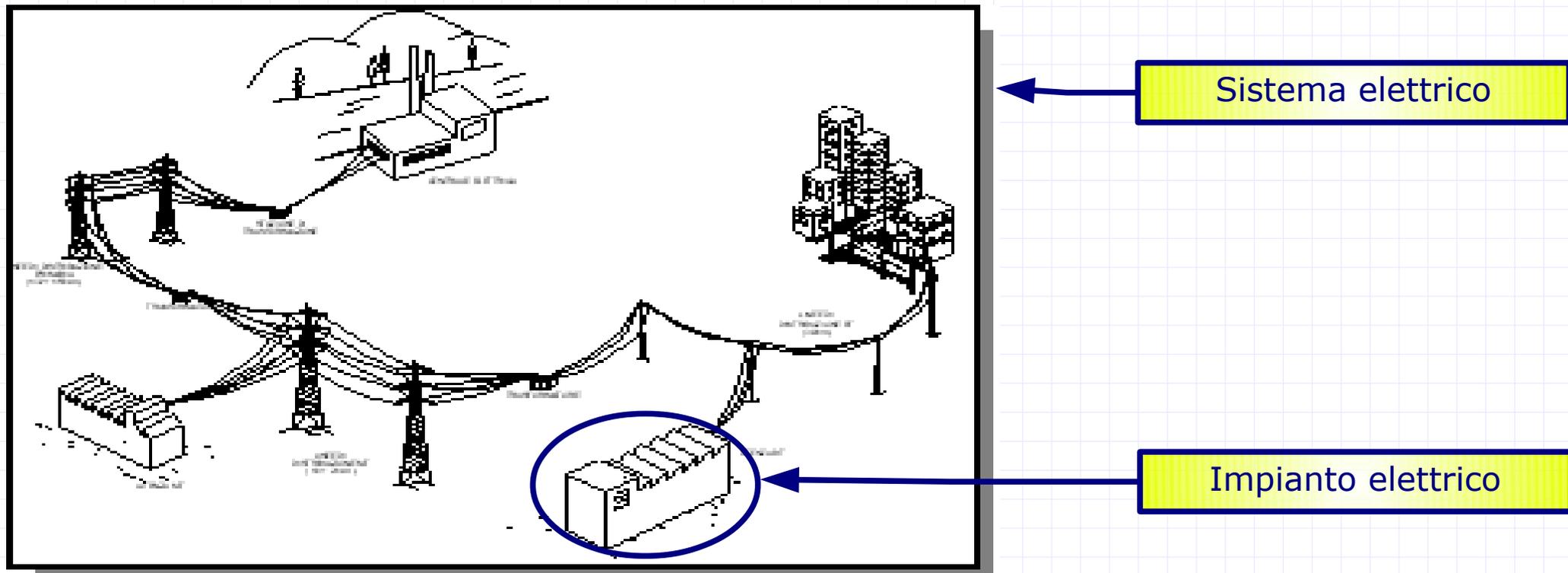
**Flussi di potenza**

**Componenti del sistema elettrico**

**L'impianto elettrico utilizzatore di BT**

# Sistemi ed impianti elettrici

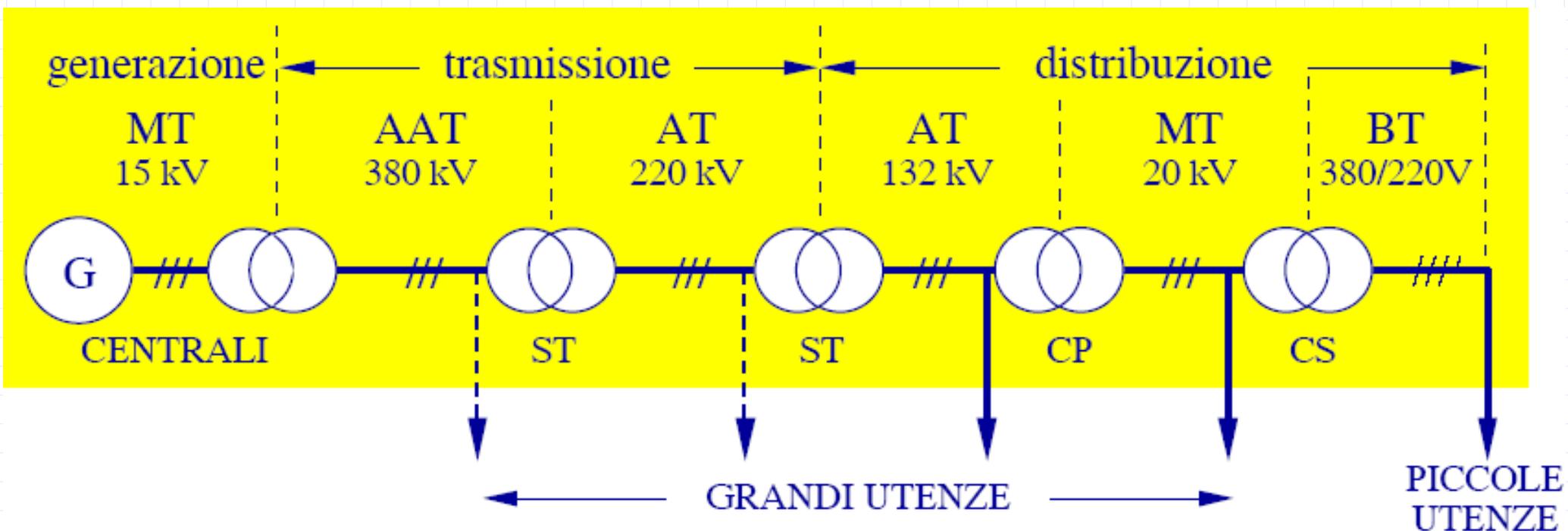
L'insieme delle macchine, delle apparecchiature e delle linee destinate alla produzione, trasformazione, trasmissione, distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica costituisce, in senso lato, il **sistema elettrico**. All'interno del sistema elettrico, l'insieme di tutti quei componenti che, seppure alimentati con differenti livelli di tensione, sono destinati a svolgere una determinata funzione, prende il nome di **impianto elettrico**.



# Struttura del sistema elettrico

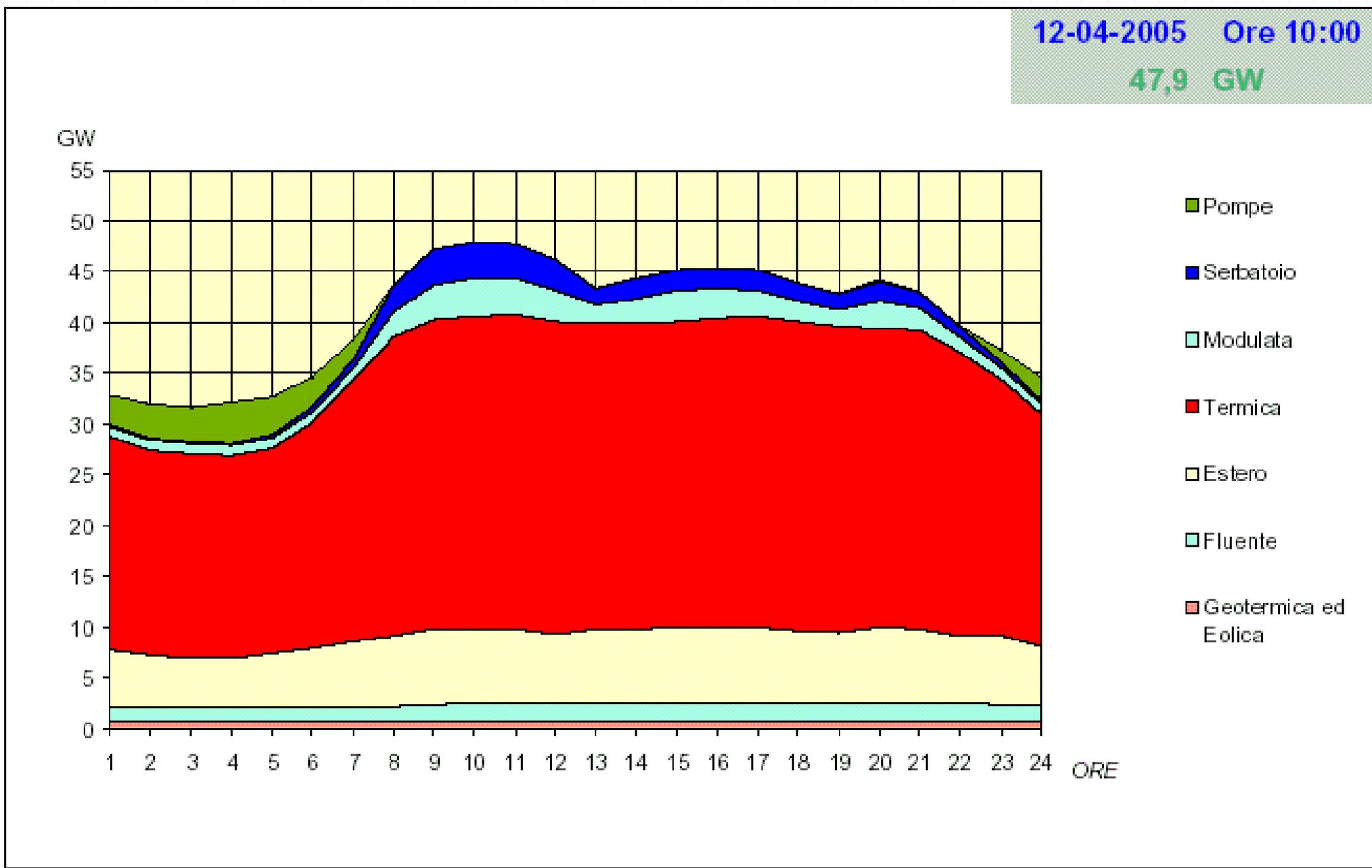
Sistemi di categoria	Tensione nominale $U_n$ <sup>(2)</sup> [V]
0 (zero)	$\leq 50$ c.a. $\leq 120$ c.c.
I	$50 < U_n \leq 1.000$ c.a. $120 < U_n \leq 1.500$ c.c.
II	$1000 < U_n \leq 30.000$ c.a. $1500 < U_n \leq 30.000$ c.c.
III	$U_n > 30.000$

La **Norma CEI 11-1** classifica i sistemi elettrici in quattro categorie in relazione alla loro **tensione nominale  $U_n$**  (i.e., la tensione per cui un impianto o una sua parte è stato progettato)



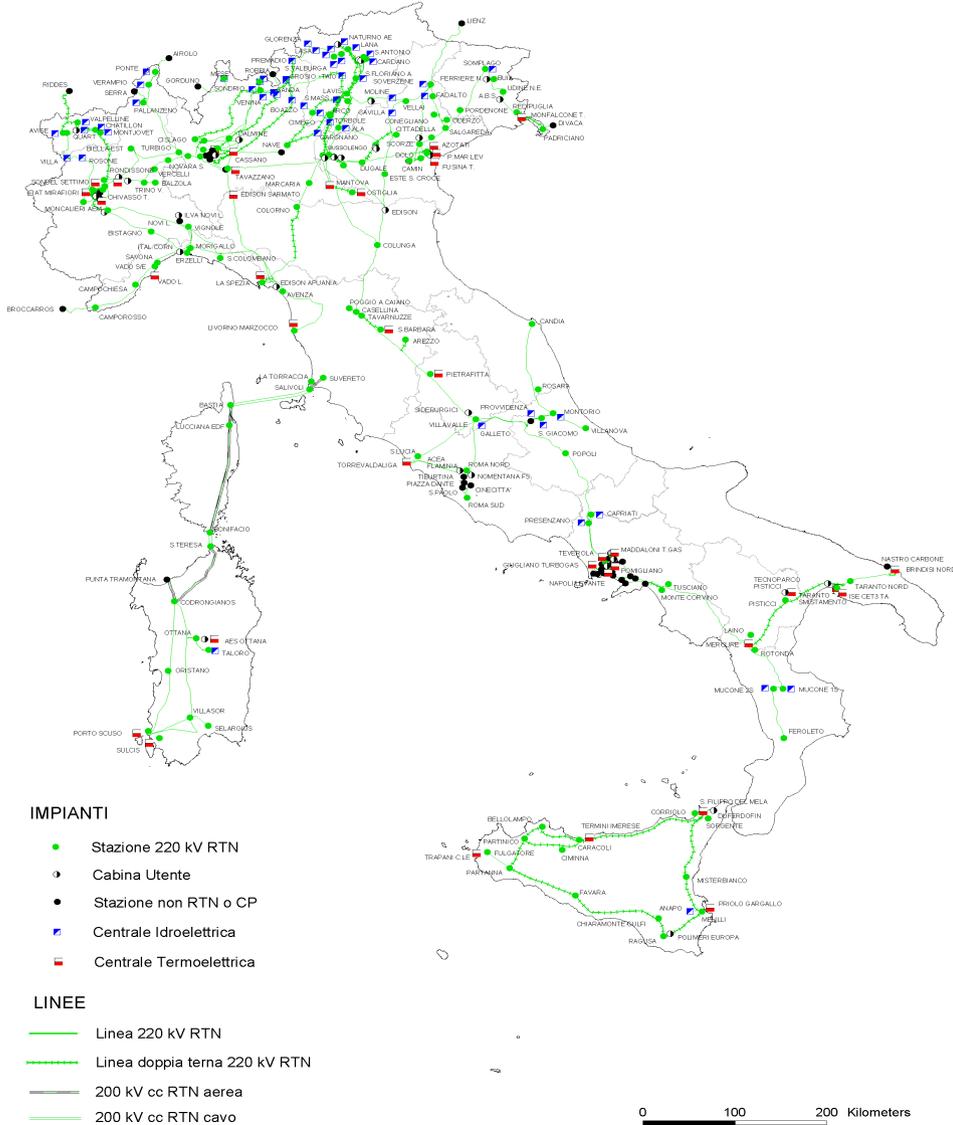
G = Generatori; ST = Stazioni di trasformazione; CP = Cabine Primarie; CS = Cabine Secondarie

# Copertura del diagramma di carico



# Rete elettrica italiana @ 380 e 220 kV

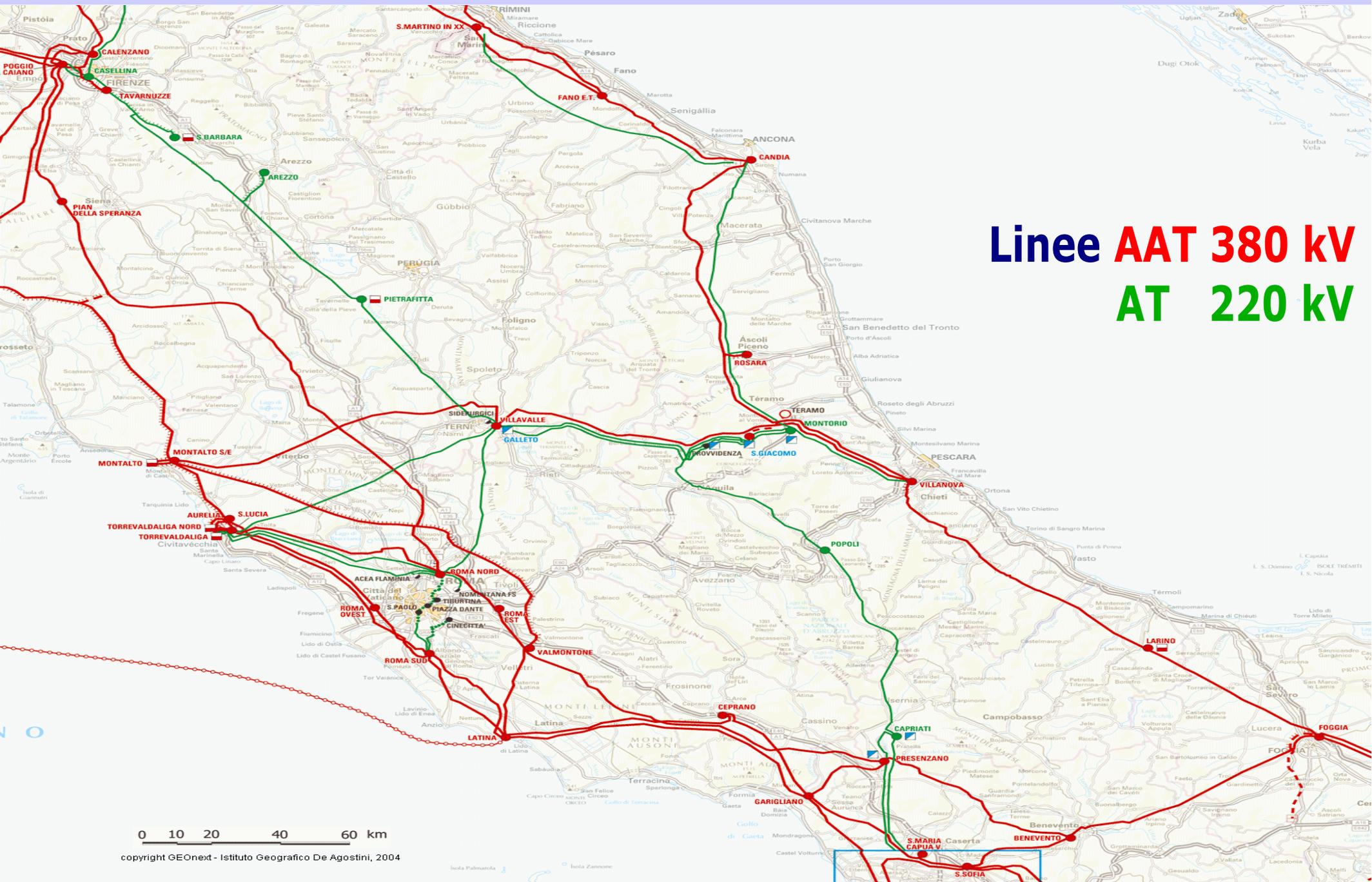
**RETE ELETTRICA ITALIANA 220 kV**  
(31 dicembre 2003)



**RETE ELETTRICA ITALIANA 380 kV**  
(31 dicembre 2003)



# Rete @ 380 e 220 kV nel centro-italia



Linee **AAT 380 kV**  
**AT 220 kV**

# Flussi di potenza

## Fabbisogni e flussi di energia elettrica in Italia

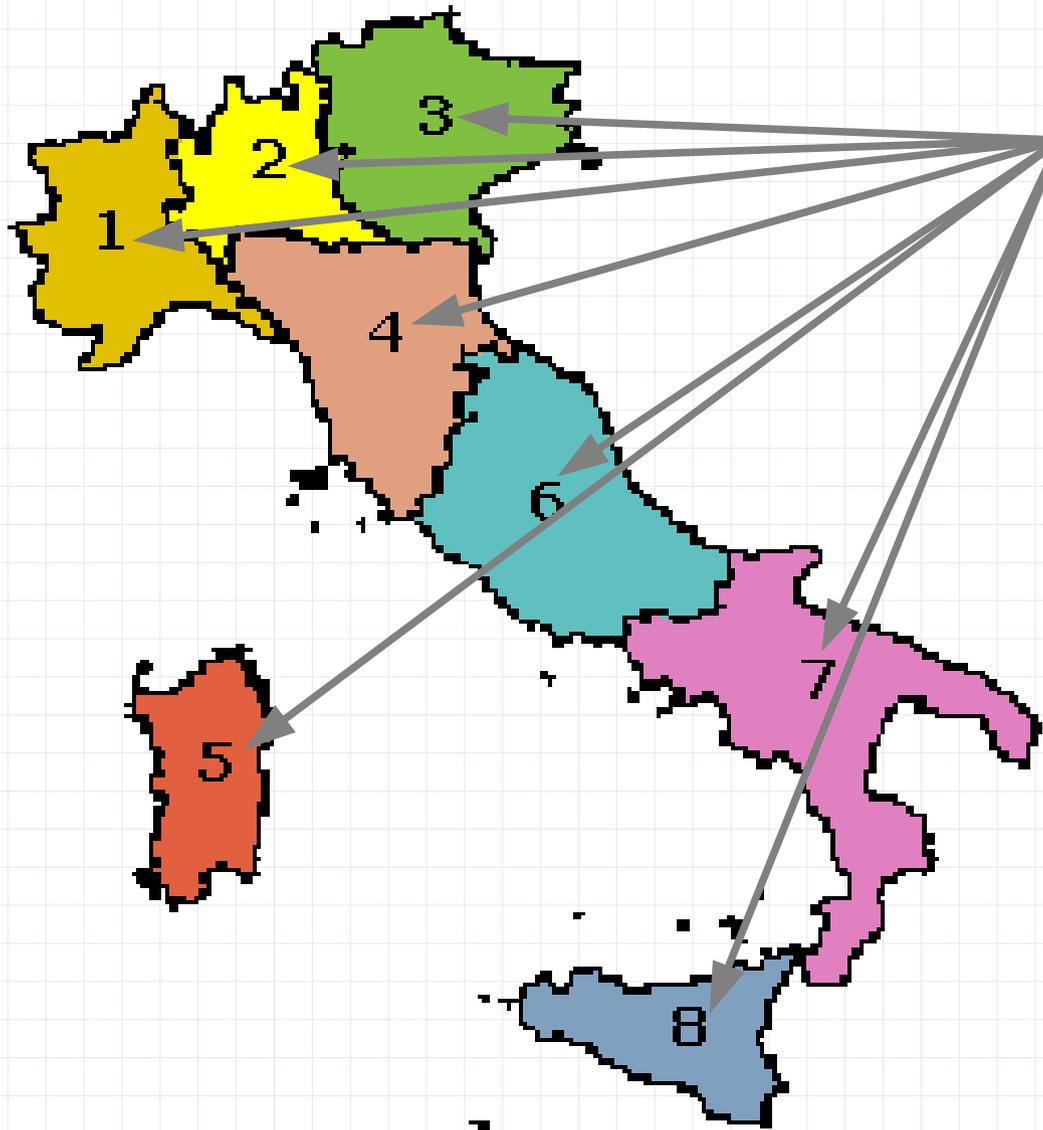
gennaio-agosto 2003



gennaio-agosto 2013



# Aree Operative Territoriali - TERNA



## TERNA

**Il Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale:**

gestisce la rete elettrica di trasmissione nazionale;

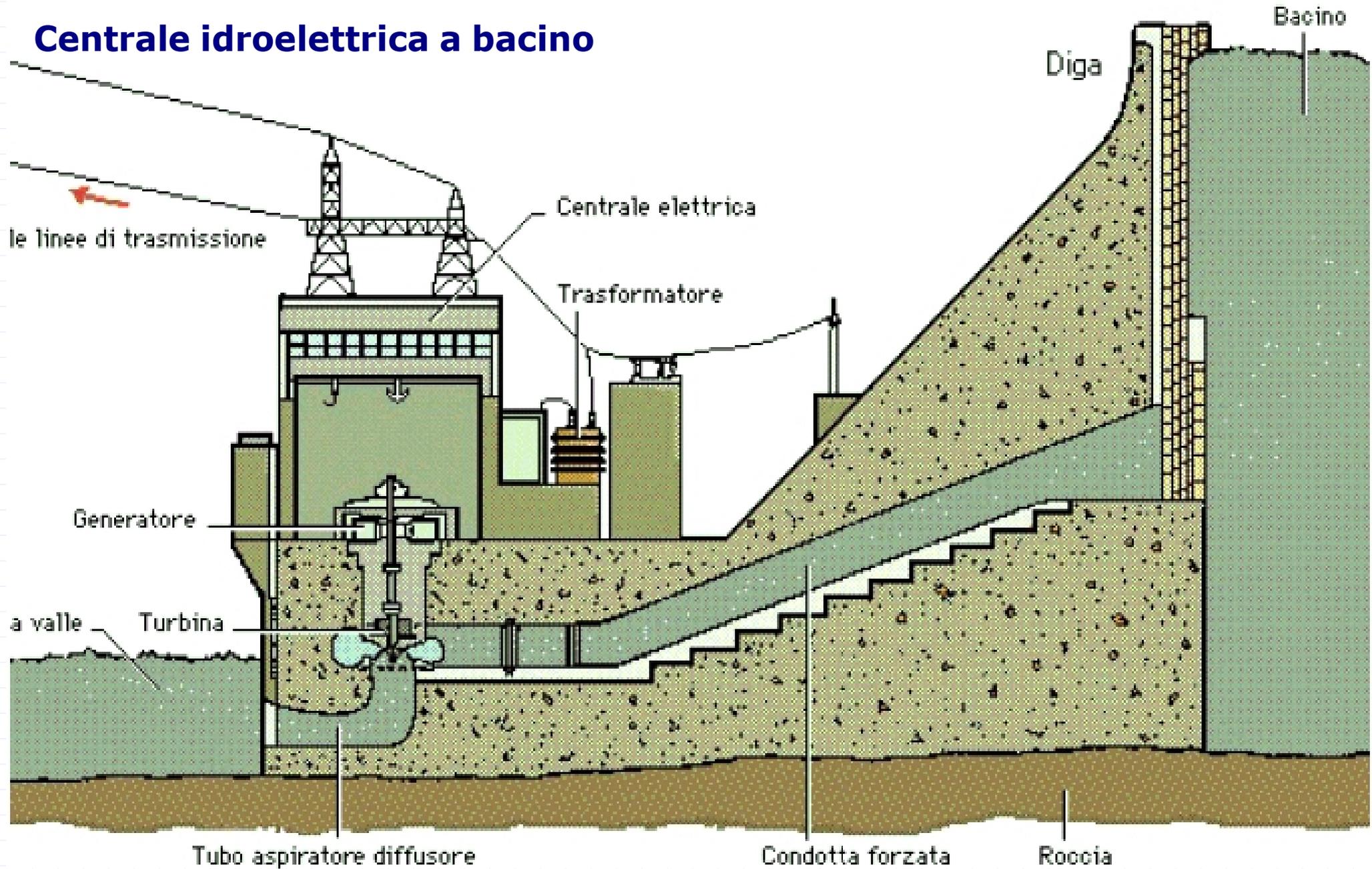
gestisce i flussi di energia, garantendo l'equilibrio fra domanda e offerta;

programma gli interventi di sviluppo e di manutenzione della rete elettrica di trasmissione;

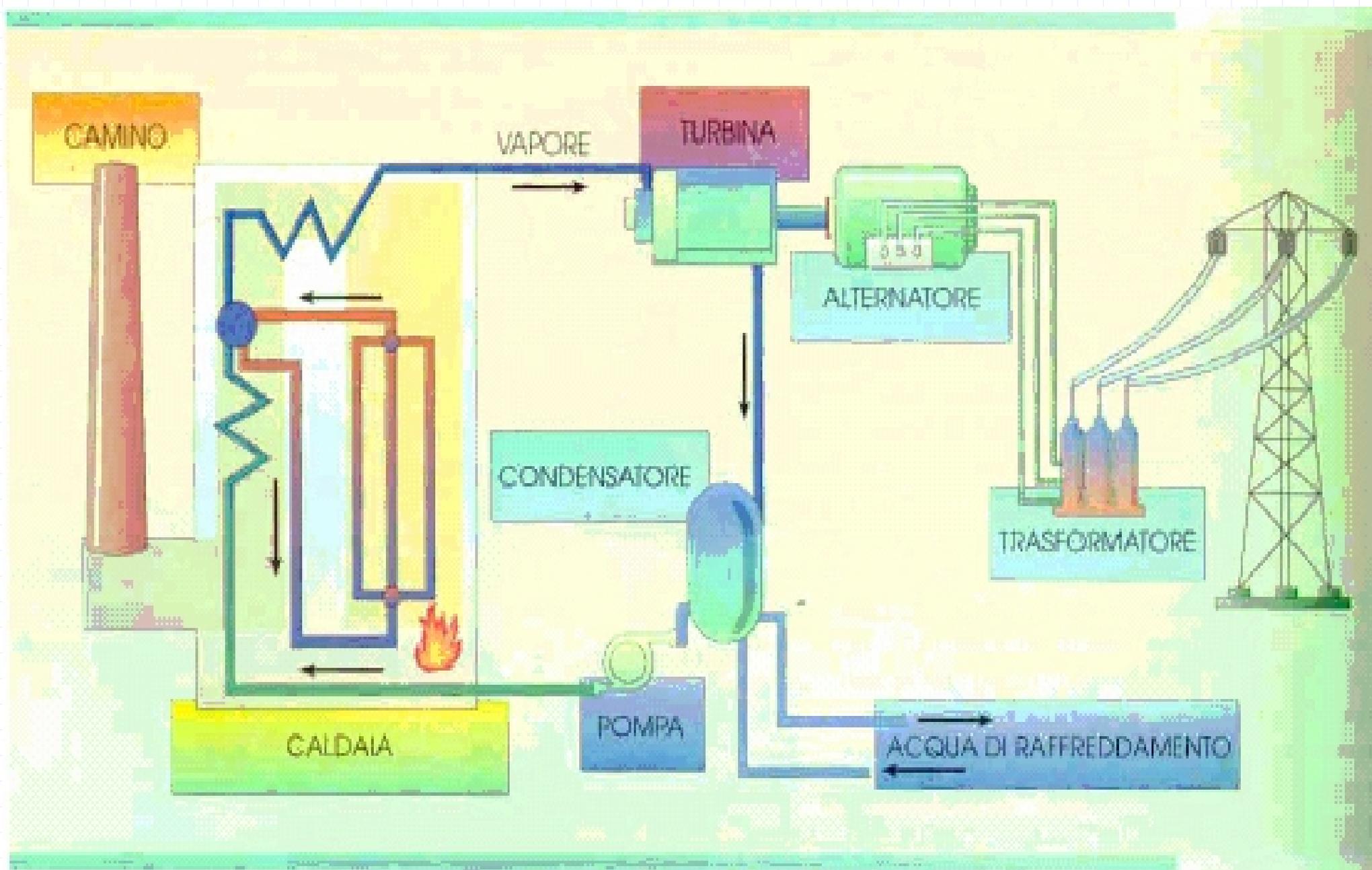
... (*ed altro*)

# Componenti: centrali idroelettriche

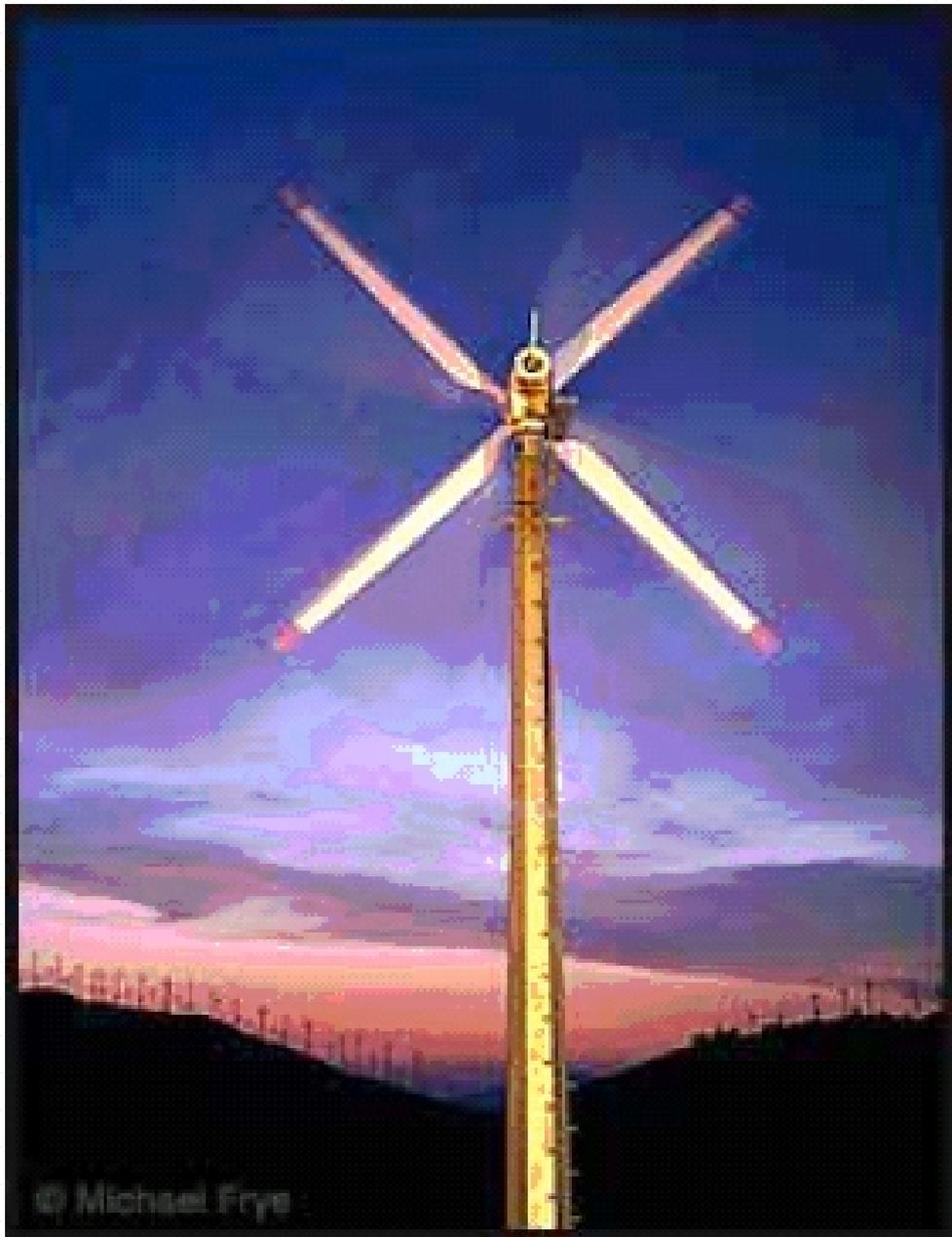
## Centrale idroelettrica a bacino



# Componenti: centrali termoelettriche



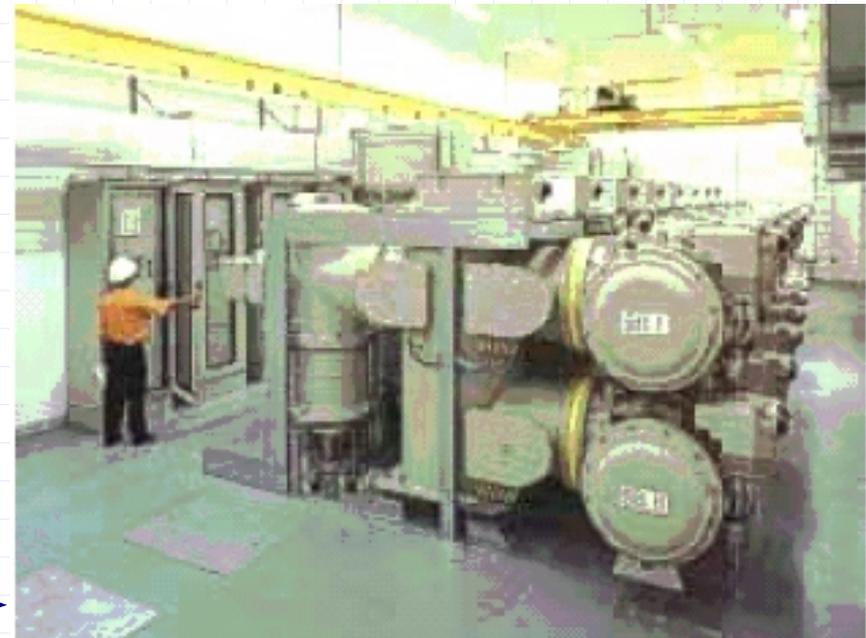
# Componenti: centrali eoliche, ...



# Componenti: stazioni e cabine primarie

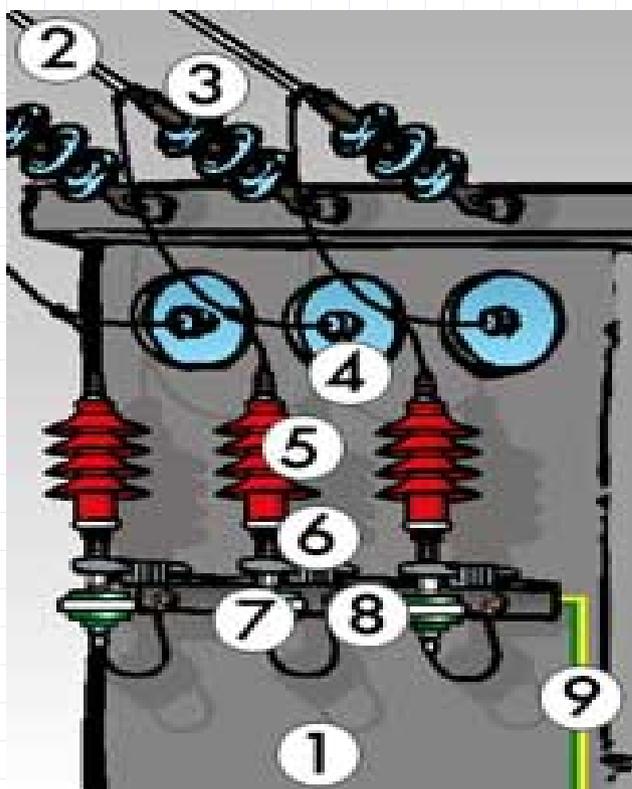


← Stazione di trasformazione AAT-AT



Cabina primaria di trasformazione AT-MT in SF6 →

# Componenti: cabine secondarie



- 1 Cabina di trasformazione
- 2 Linea M.T.
- 3 Isolatore
- 4 Passante
- 5 Scaricatore di media tensione
- 6 Supporto isolato
- 7 Unità di sezionamento
- 8 Staffa di fissaggio metallica
- 9 Verso l'impianto di messa a terra della cabina



# Componenti: quadri MT (cabine secondarie)



ABB – Advance – Quadro MT isolato in aria per distribuzione primaria

ABB - UniMix - Quadro MT isolato in aria per distribuzione secondaria

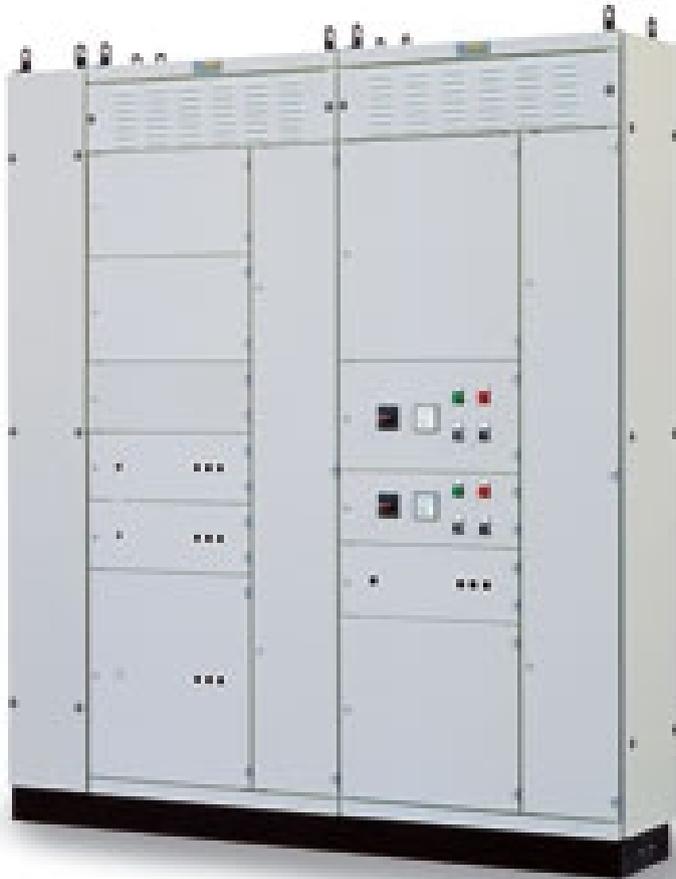
# Componenti: quadri BT (cabine secondarie)

ARMADI COMPONENTI  
MODULARI PER POWER  
CENTER (fino a 6300A)

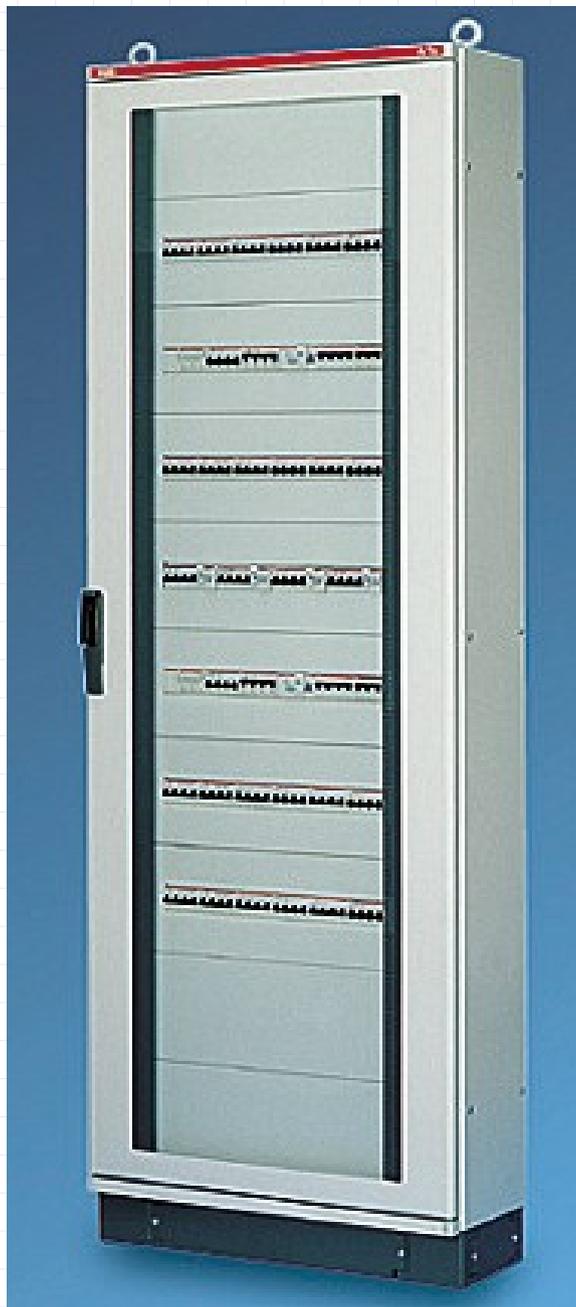


# Componenti del sistema elettrico nazionale

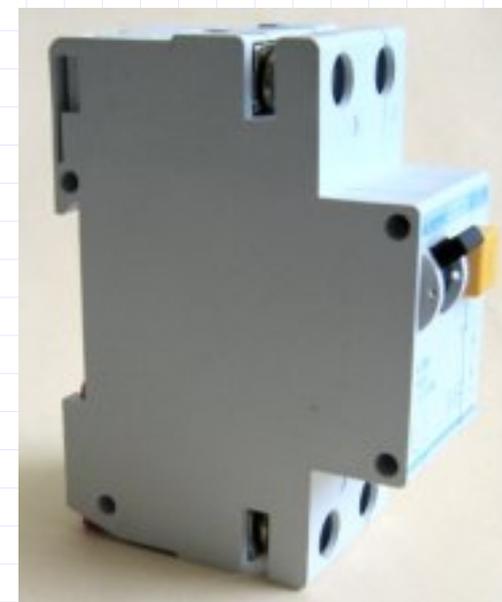
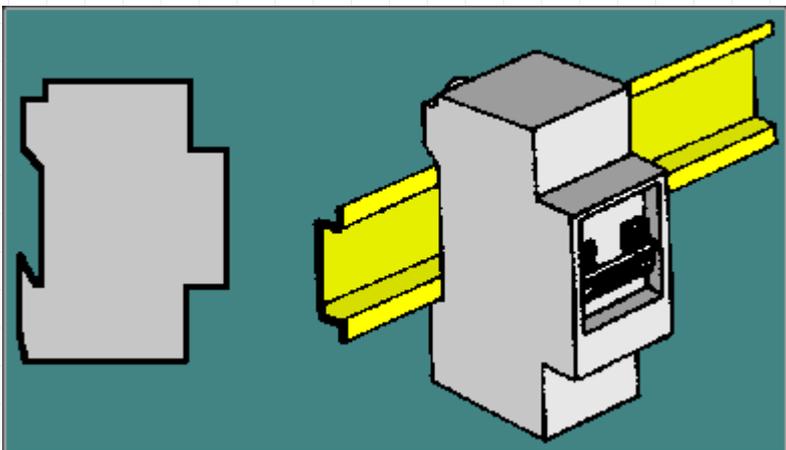
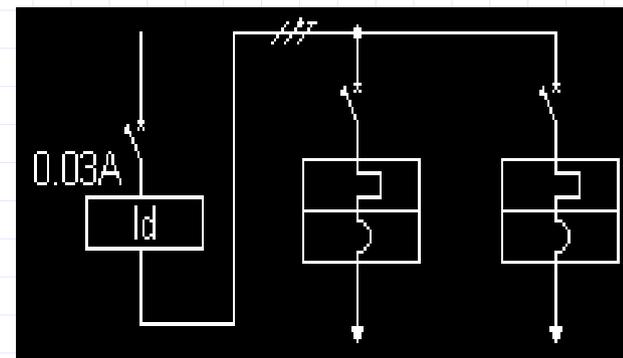
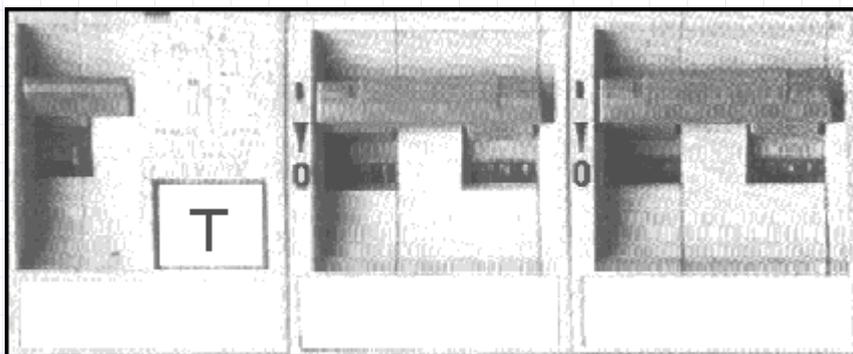
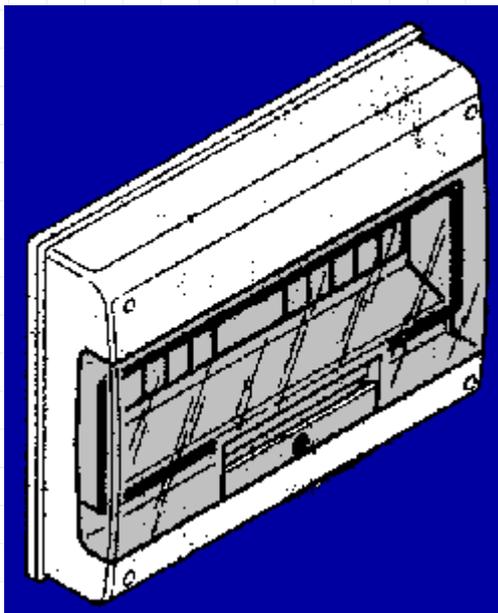
ARMADIO BASE IP30 MOTOR CONTROL CENTER (MCC) a cassette fissi, con accessibilità sbarre omnibus verticali ed orizzontali dal fronte, completo di supporti per isolatori, pannelli di tamponamento, laterali e zoccolo h.100 mm.



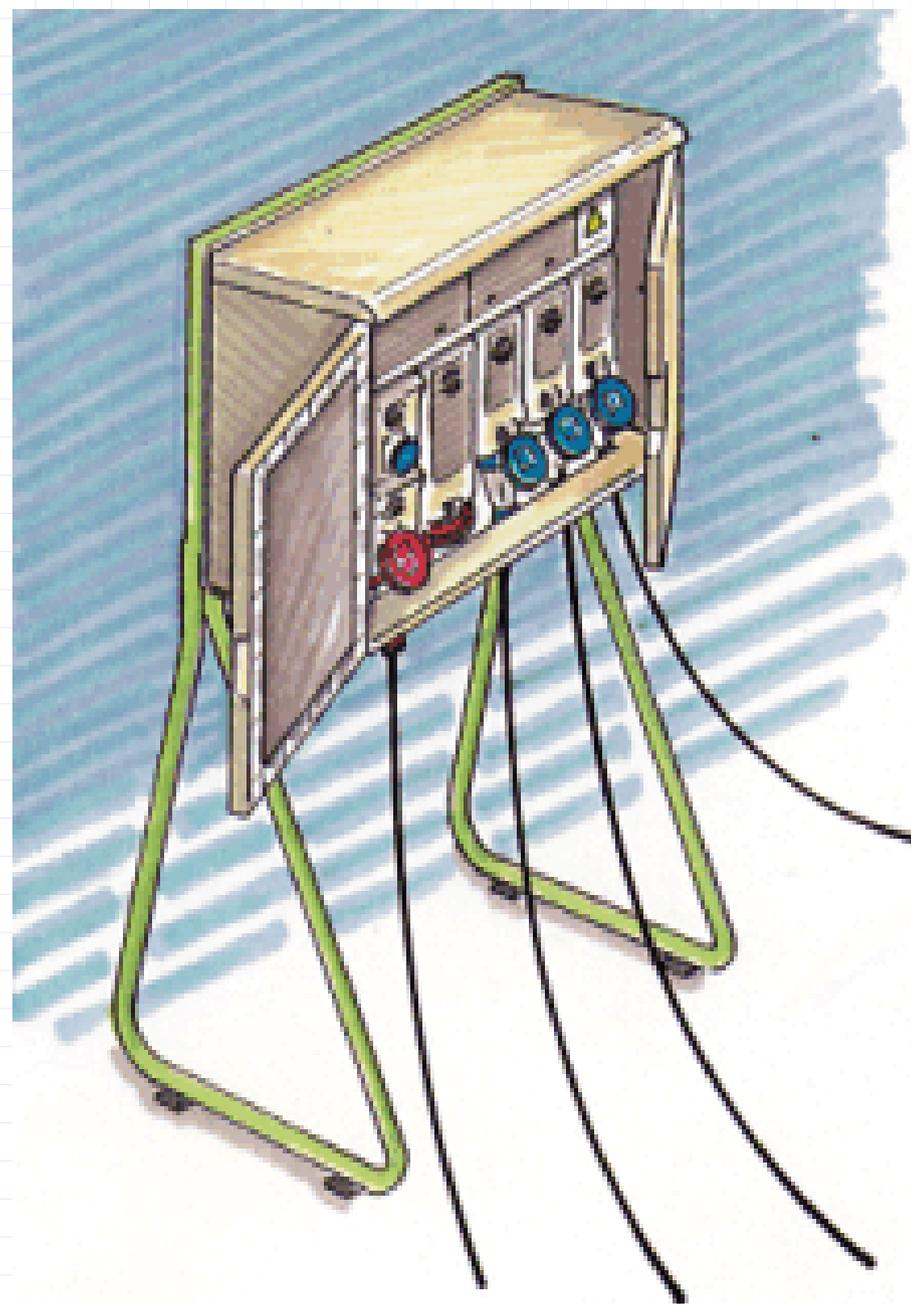
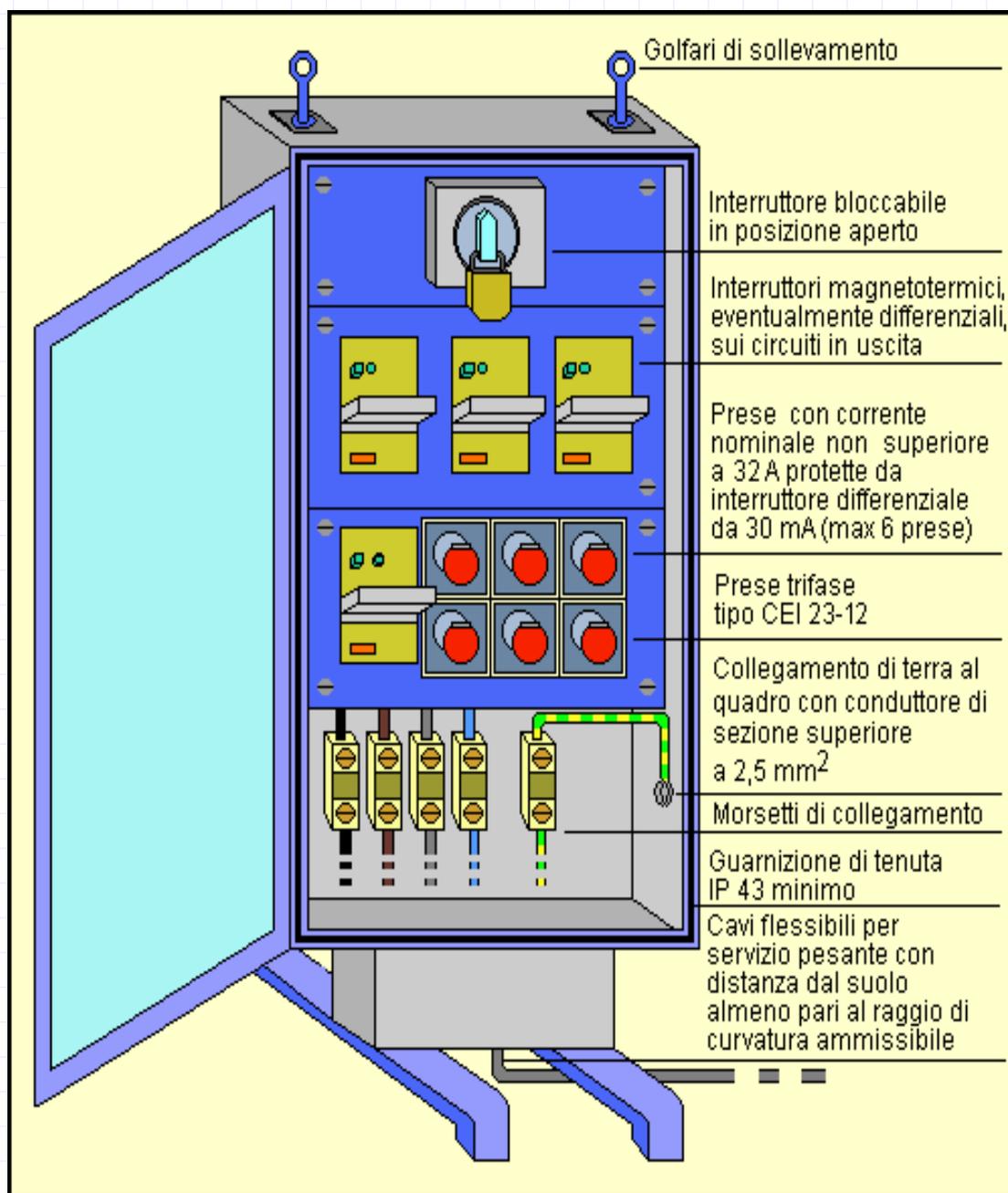
# Componenti: quadri BT (impieghi vari)



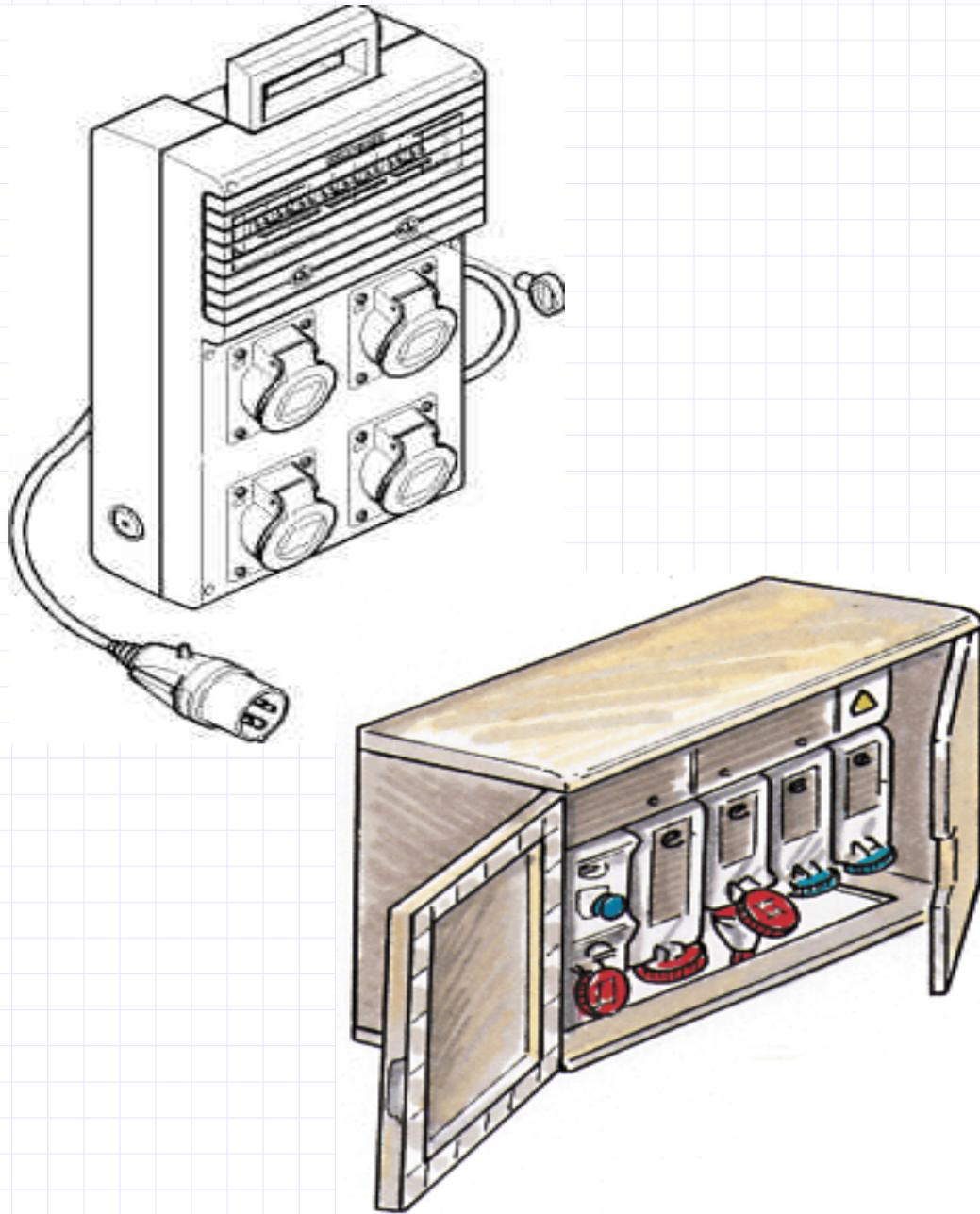
# Componenti: quadretti di appartamento



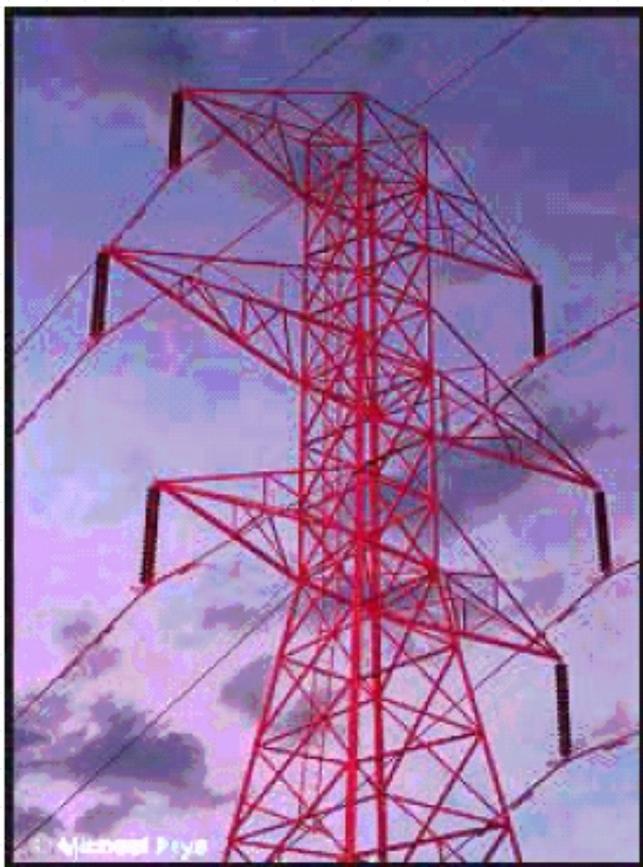
# Componenti: quadri da cantieri



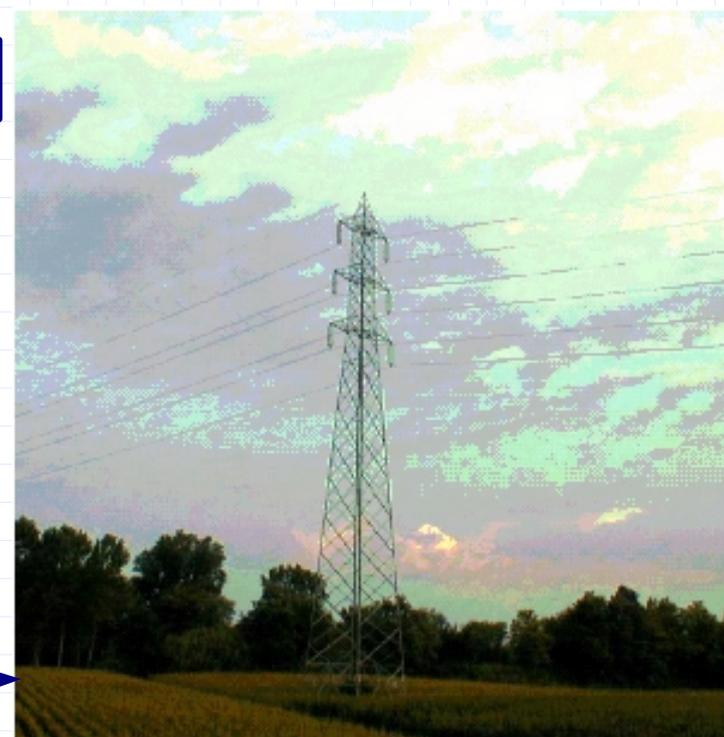
# Componenti: quadretti portatili



# Componenti: linee elettriche di potenza



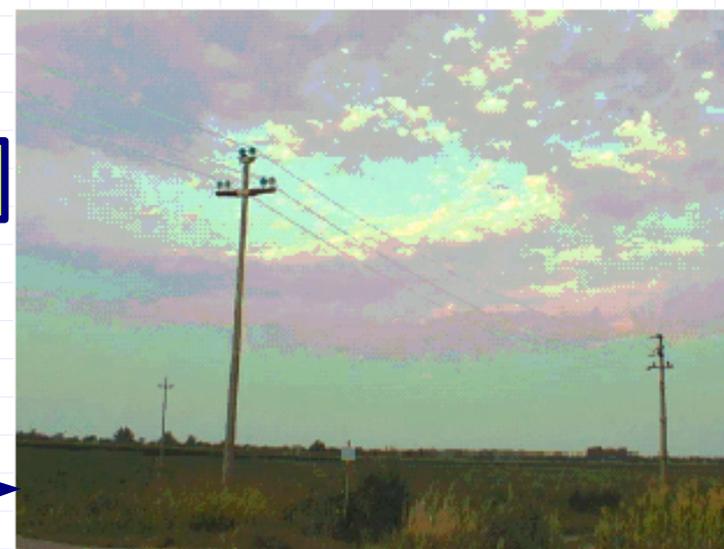
AAT-380 kV doppia terna



AT-132 kV doppia terna

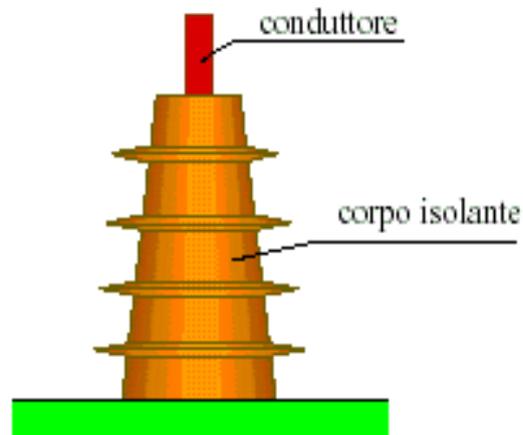
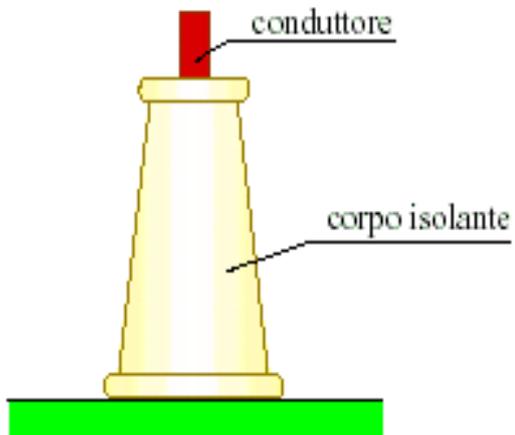
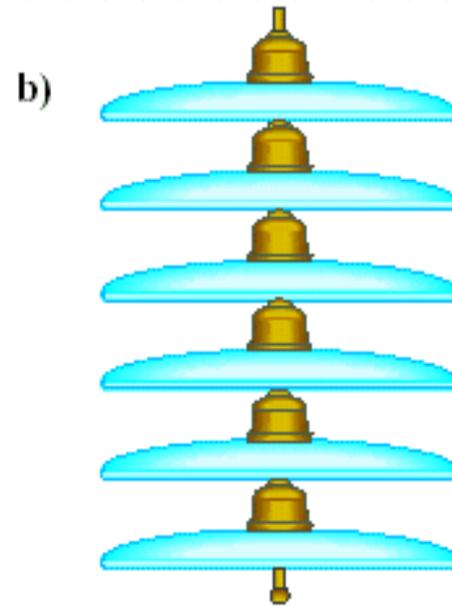
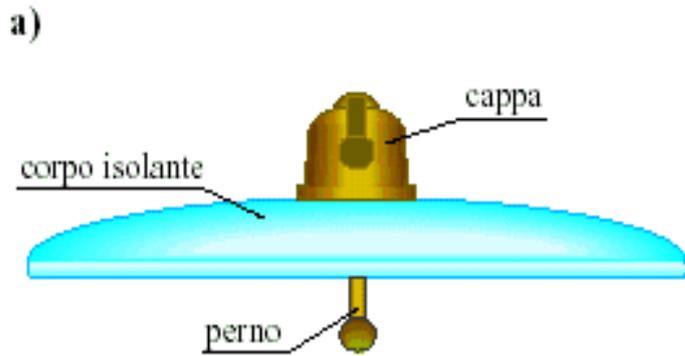


AAT-380 kV singola terna



MT-20 kV singola terna

# Componenti: isolatori



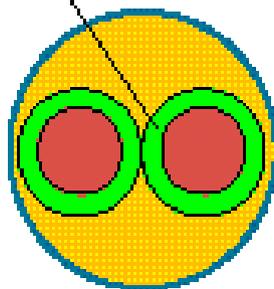
# Componenti: cavi

conduttore



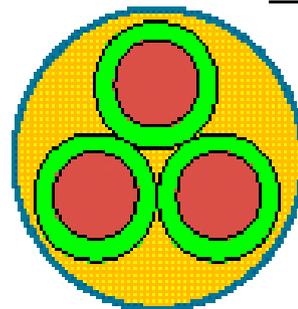
cavo unipolare

isolamento



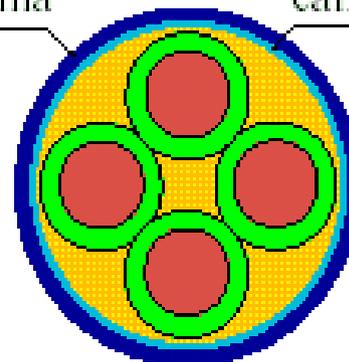
cavo bipolare

guaina



cavo tripolare

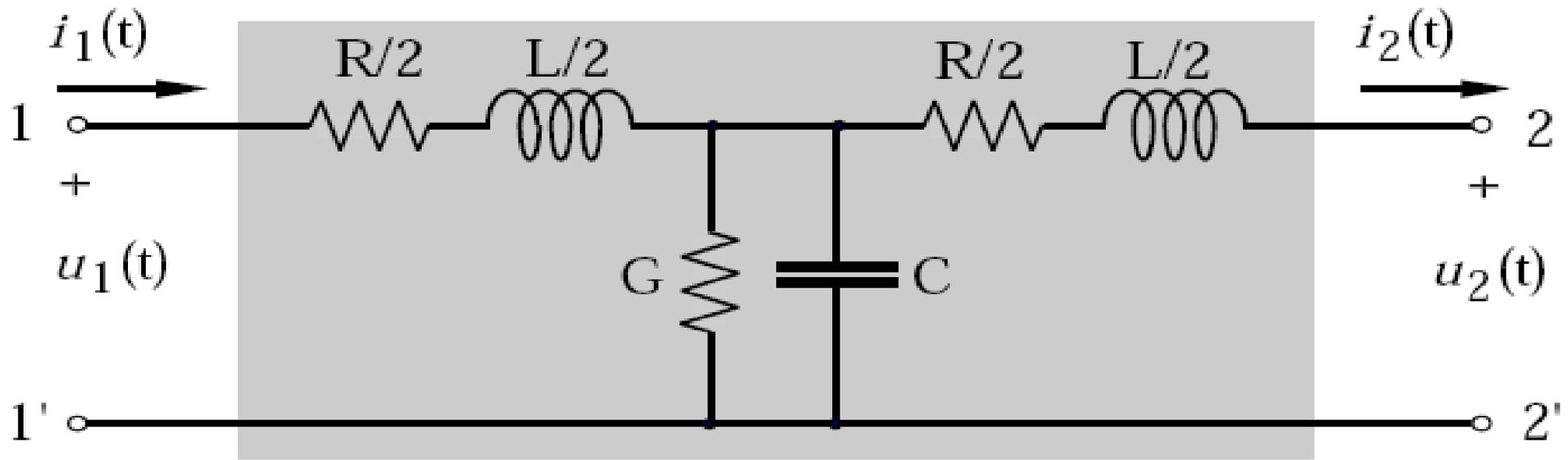
calza



cavo quadripolare



# Componenti: schemi equivalenti linee



$$R = 2\rho \frac{l}{S}$$

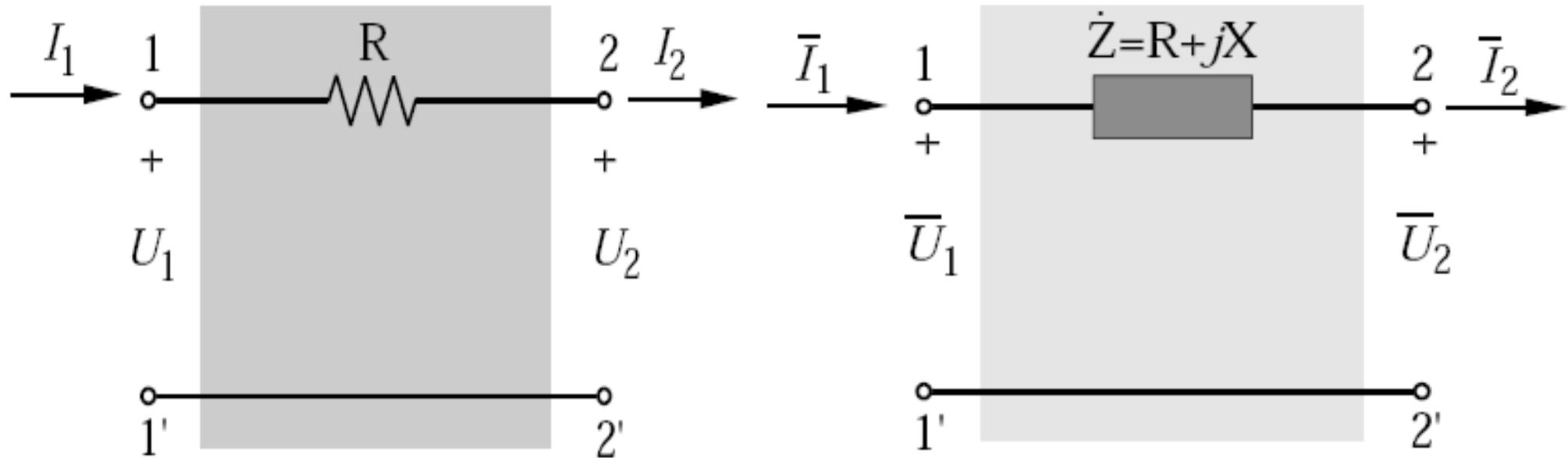
$$L = \frac{\mu l}{\pi} \left( \ln \frac{h}{r_0} + \frac{1}{4} \right)$$

$$C = \frac{\varepsilon \pi l}{\ln \frac{h - r_0}{r_0}}$$

La conduttanza trasversale dipende dai fenomeni dissipativi che hanno luogo all'interno del dielettrico interposto fra i due conduttori della linea bifilare.

Quello rappresentato in figura e il modello di linea basato sul doppio bipolo equivalente a T. Come modello di linea viene frequentemente utilizzato anche il doppio bipolo equivalente a  $\Pi$  (che per molti versi si può ritenere anche più accurato del modello a T).

# Componenti: schemi equivalenti linee



Per la linea bifilare

$$R = 2 \rho \frac{l}{S}$$

Per la linea unifilare  
(e.g. ritorno nel terreno)

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Per ogni conduttore della linea

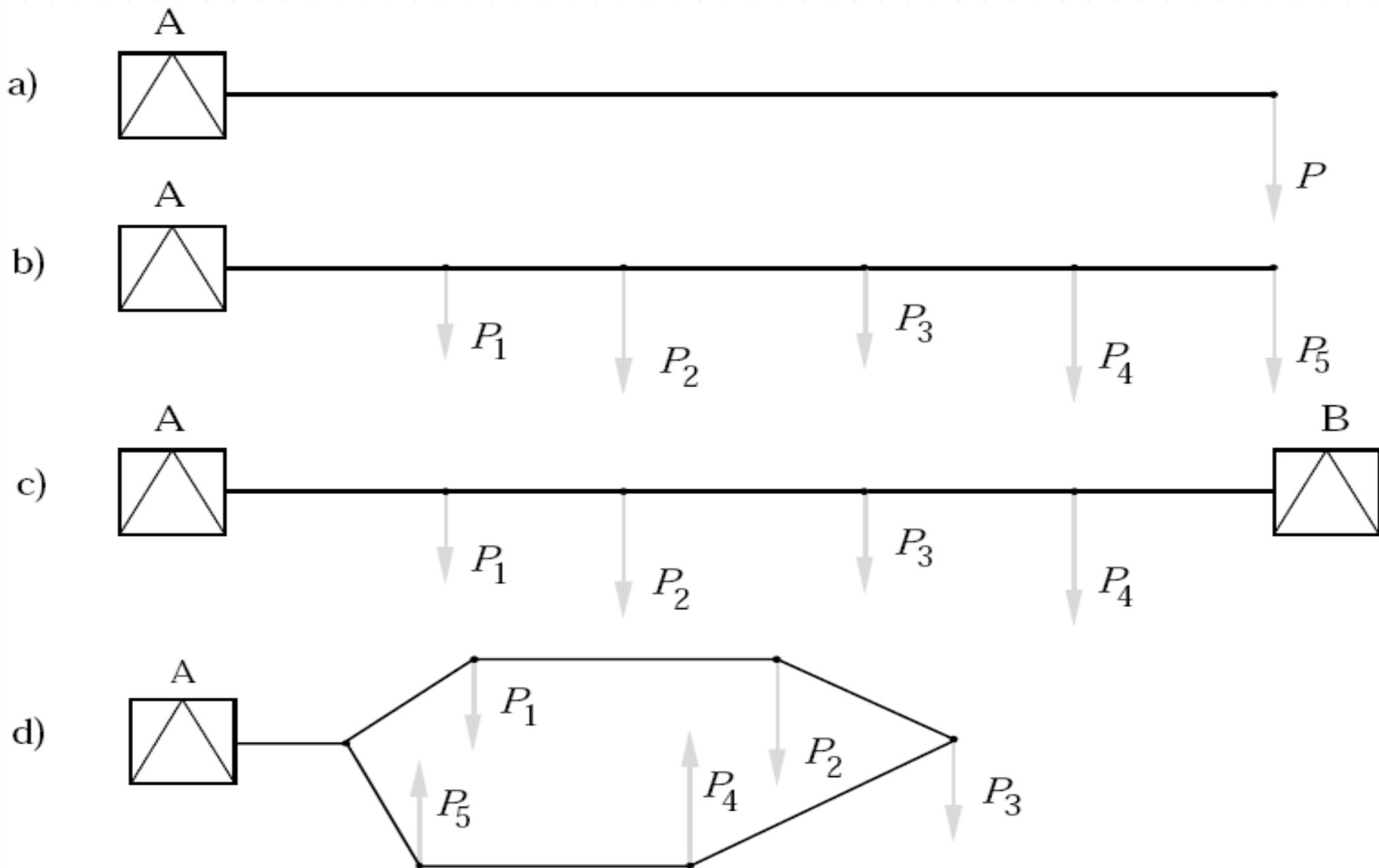
$$r = \frac{\rho}{S} 10^3 \Omega km^{-1}$$

$$x_l = \frac{1}{2} \omega \frac{\mu}{\pi} \left( \ln \frac{h}{r_0} + \frac{1}{4} \right) 10^3 \Omega km^{-1}$$

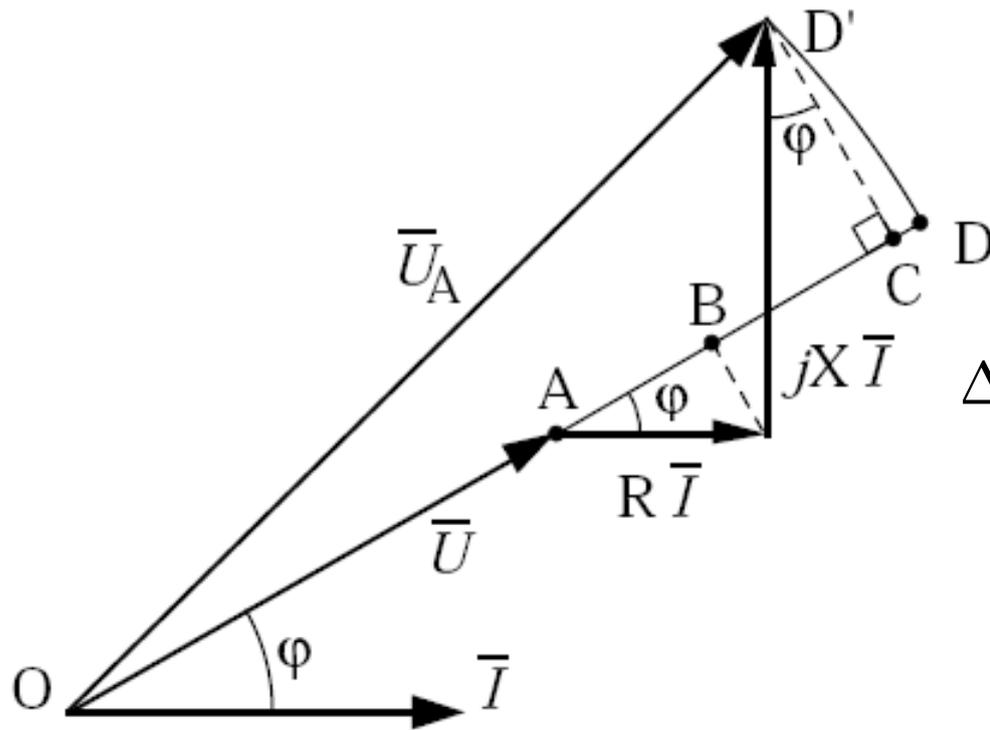
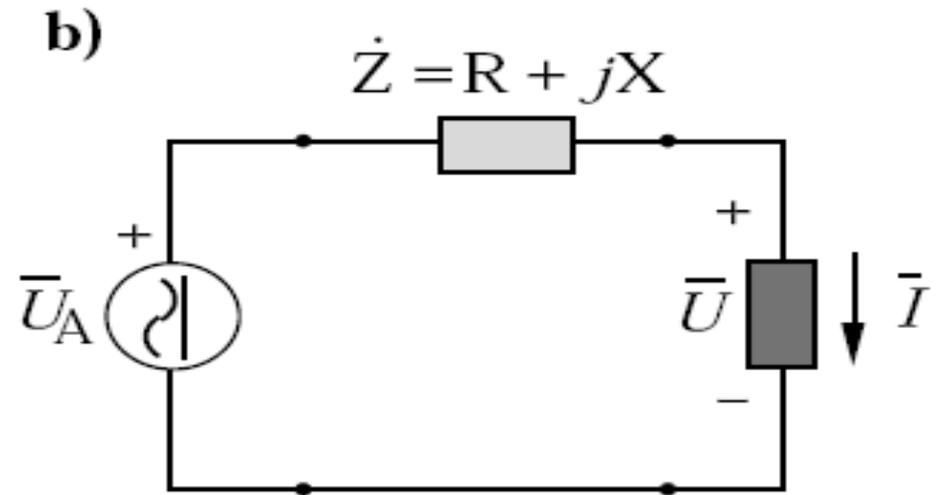
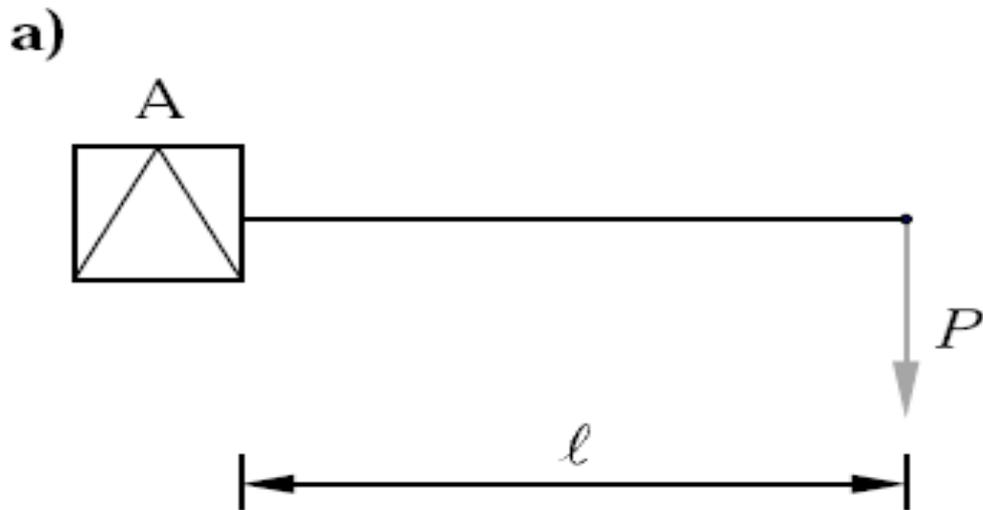
è in genere  $\ll$  di  $r$  negli impianti in BT

$x_c$  è trascurabile negli impianti in BT

# Componenti: topologia delle linee



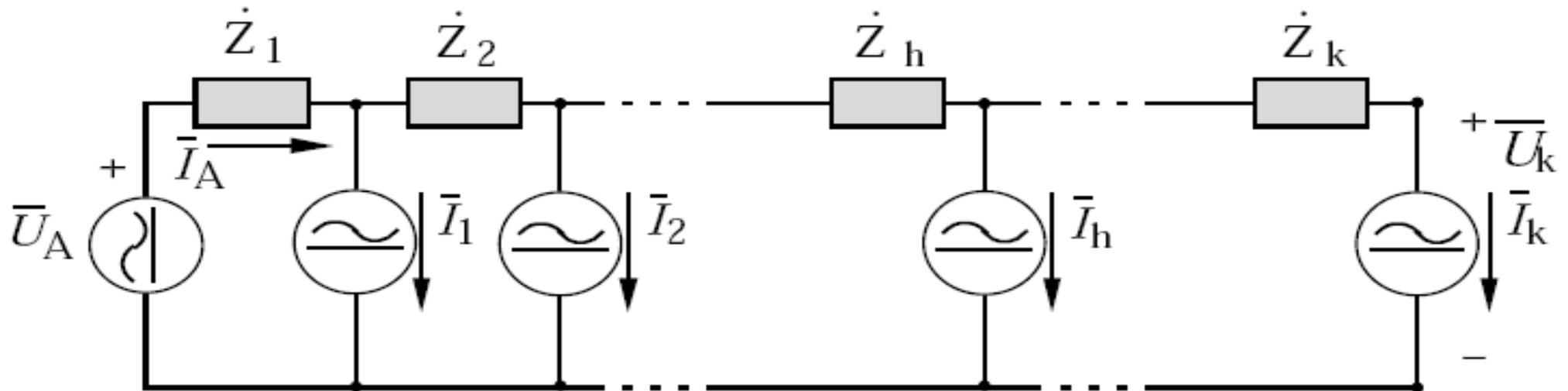
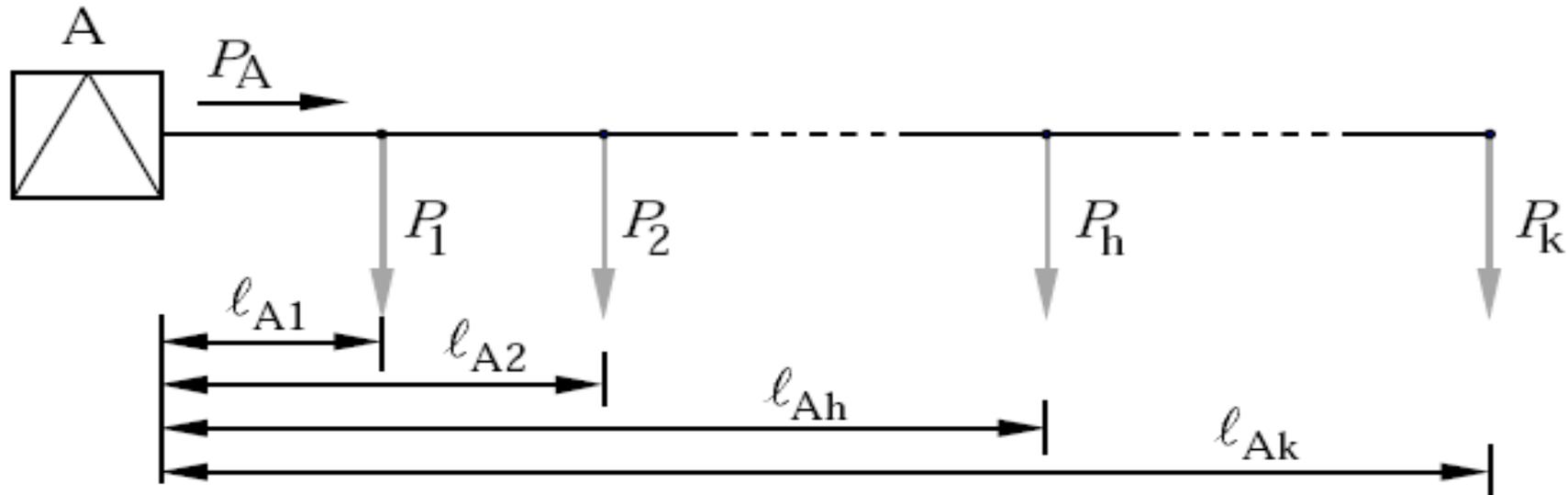
# Componenti: c.d.t. in linea



$$I = \frac{P_n}{U_n \cos \varphi}$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_A - U = I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \\ &= 2 I l (r \cos \varphi + x_l \sin \varphi) = \\ &= 2 l \frac{\rho}{S} I \cos \varphi + 2 l x_l I \sin \varphi = \\ &= \Delta U_a + \Delta U_r \end{aligned}$$

# Componenti: c.d.t. in linea



# Componenti: c.d.t. in linea

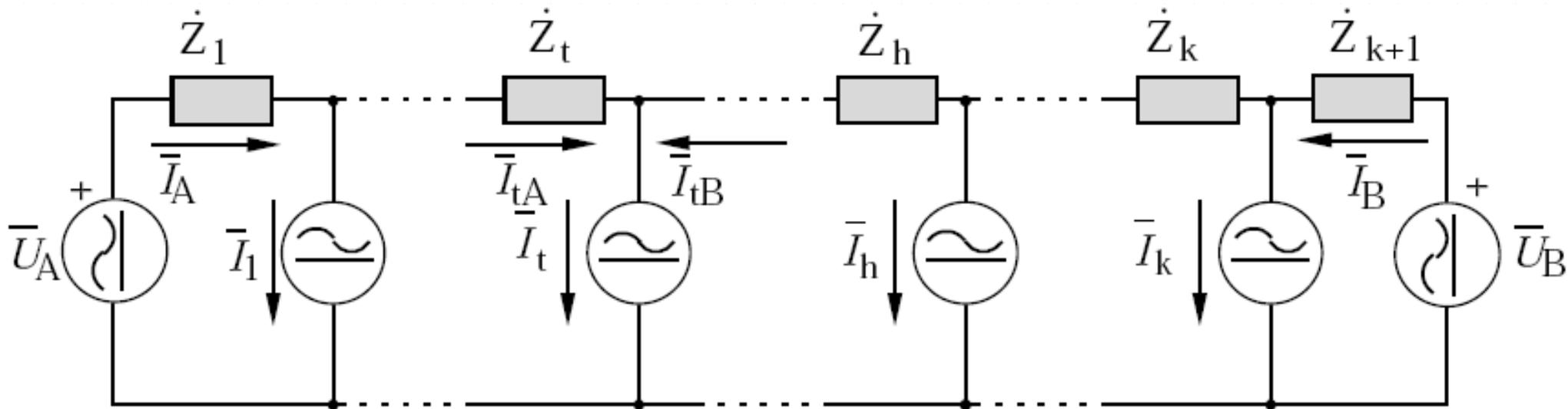
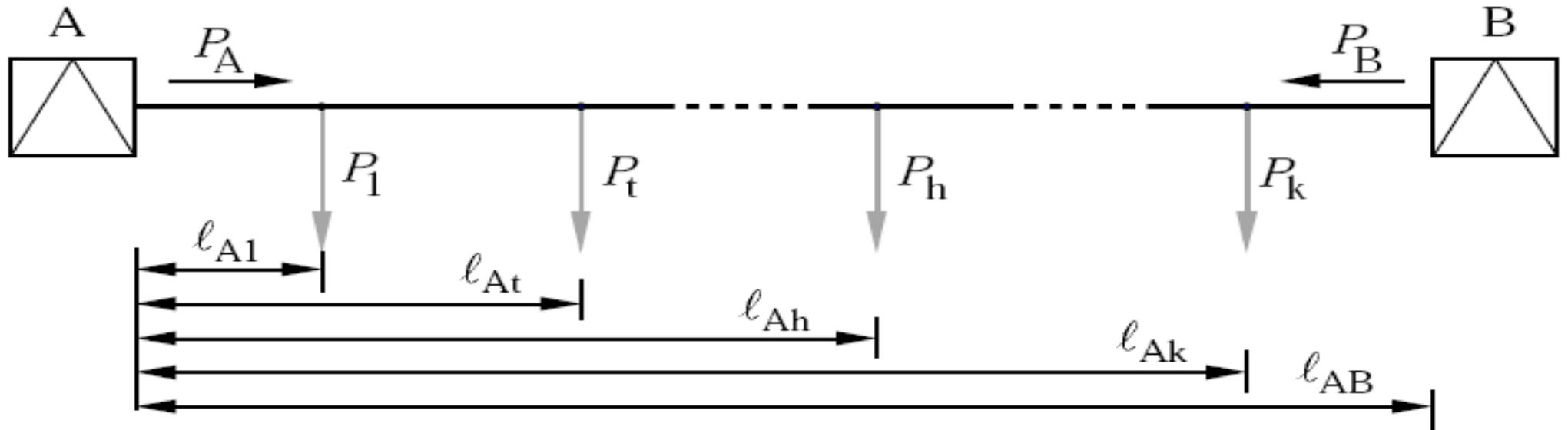
$$k=2$$

$$\begin{aligned}\bar{U}_k &= \bar{U}_A - (\dot{Z}_1(\bar{I}_1 + \bar{I}_2) + \dot{Z}_2\bar{I}_2) = U_A - \dot{Z}_1\bar{I}_1 - (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2)\bar{I}_2 = \\ &= \bar{U}_A - \left(2\frac{\rho}{S} + j2x_l\right)l_{A1}\bar{I}_1 - \left[\left(2\frac{\rho}{S} + j2x_l\right)l_{A1} + \left(2\frac{\rho}{S} + j2x_l\right)(l_{A2} - l_{A1})\right]\bar{I}_2 = \\ &= \bar{U}_A - \left(2\frac{\rho}{S} + j2x_l\right)l_{A1}\bar{I}_1 - \left(2\frac{\rho}{S} + j2x_l\right)l_{A2}\bar{I}_2 = \\ &= \bar{U}_A - \sum_{h=1}^k \left(2\frac{\rho}{S} + j2x_l\right)l_{Ah}\bar{I}_h = \bar{U}_A - \sum_{h=1}^k \dot{z}l_{Ah}\bar{I}_h\end{aligned}$$

$$\Delta U = U_A - U_k = 2\frac{\rho}{S} \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h + 2x_l \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \sin \varphi_h = \Delta U_a + \Delta U_r$$

**N.B.** - I fasori delle correnti si determinano ipotizzando le tensioni sui tutti carichi in fase fra loro e pari alla tensione nominale

# Componenti: c.d.t. in linea

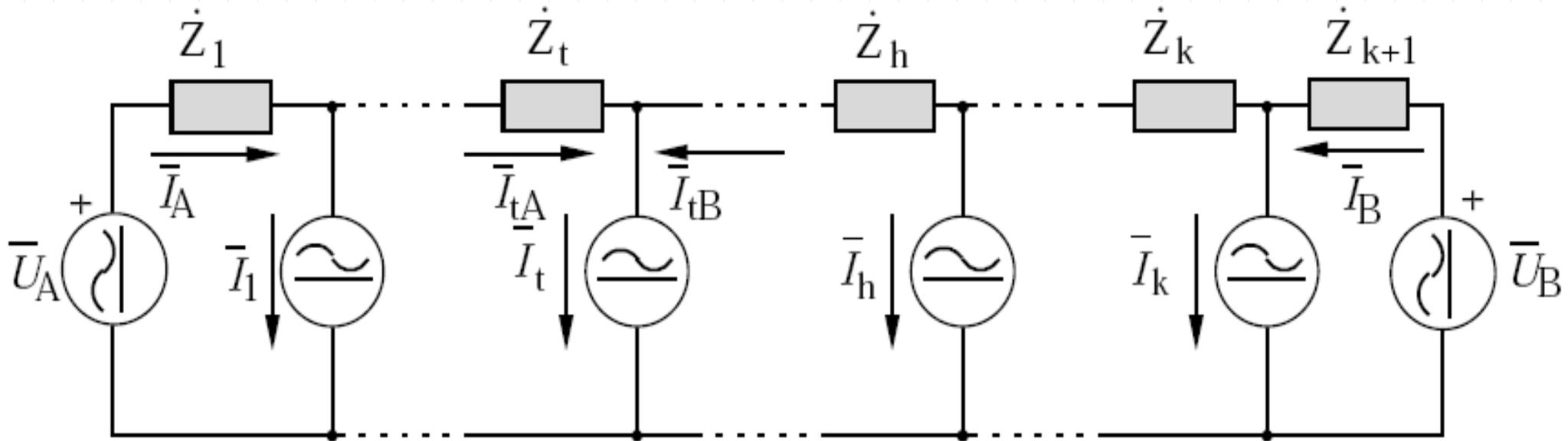


$$\bar{I}_A + \bar{I}_B = \sum_{h=1}^k \bar{I}_h$$

$$\sum_{h=1}^{t-1} \bar{I}_h < \bar{I}_a \leq \sum_{h=1}^t \bar{I}_h$$

$$\bar{I}_t = \bar{I}_{tA} + \bar{I}_{tB}$$

# Componenti: c.d.t. in linea



$$\bar{U}_B - \bar{U}_A = \sum_{h=1}^k \dot{z} l_{Ah} \bar{I}_h - z l_{AB} \bar{I}_B \quad \text{se} \quad \bar{U}_A = \bar{U}_B \Rightarrow \bar{I}_B = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Ah} \bar{I}_h$$

$$\bar{I}_A = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Bh} \bar{I}_h = \sum_{h=1}^k \bar{I}_h - \bar{I}_B$$

$$I_{Aa} = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Bh} \bar{I}_{ha}$$

$$I_{Ba} = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Ah} \bar{I}_{ha} \Rightarrow t_a \Rightarrow \Delta U = \Delta U_{amax} + \Delta U_r$$

$$I_{Ar} = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Bh} \bar{I}_{hr}$$

$$I_{Br} = \frac{1}{l_{AB}} \sum_{h=1}^k l_{Ah} \bar{I}_{hr} \Rightarrow t_r \Rightarrow \Delta U = \Delta U_a + \Delta U_{rmax}$$

$\Delta U_{max}$

# Componenti: dimensionamento linee

$$\Delta U = U_A - U_k = 2 \frac{\rho}{S} \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h + 2 x_l \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \sin \varphi_h = \Delta U_a + \Delta U_r$$

Per le linee aeree  $x_l = 0,3 \Omega \text{ km}^{-1}$

Per le linee in cavo  $x_l = 0,1 \Omega \text{ km}^{-1}$

$$\Delta U_r = 2 x_l \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \sin \varphi_h$$

$$S \geq \frac{2 \rho \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h}{\Delta U_{max} - \Delta U_r}$$

$$S \geq \frac{\rho \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h}{\Delta E_{max} - \Delta E_r}$$

Scelta della sezione commerciale del cavo dalla quale si deduce  $I_z$  e  $x_l$

Verifica termica  $I_z > I_b$

Verifica c.d.t.  $\Delta U = 2 \frac{\rho}{S} \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h + 2 x_l \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \sin \varphi_h < \Delta U_{max}$

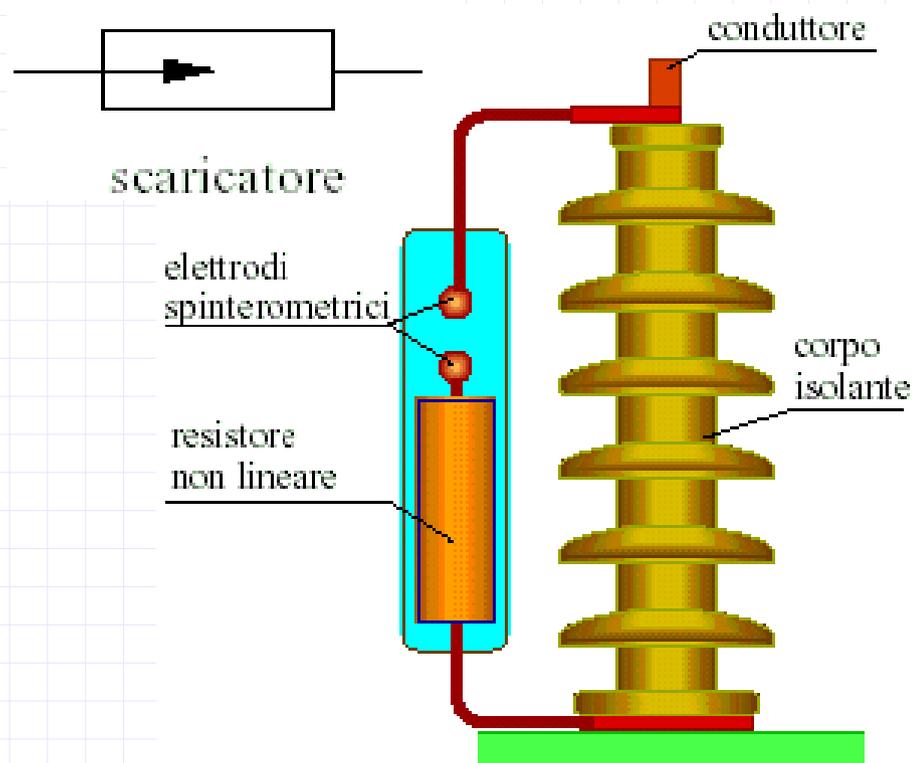
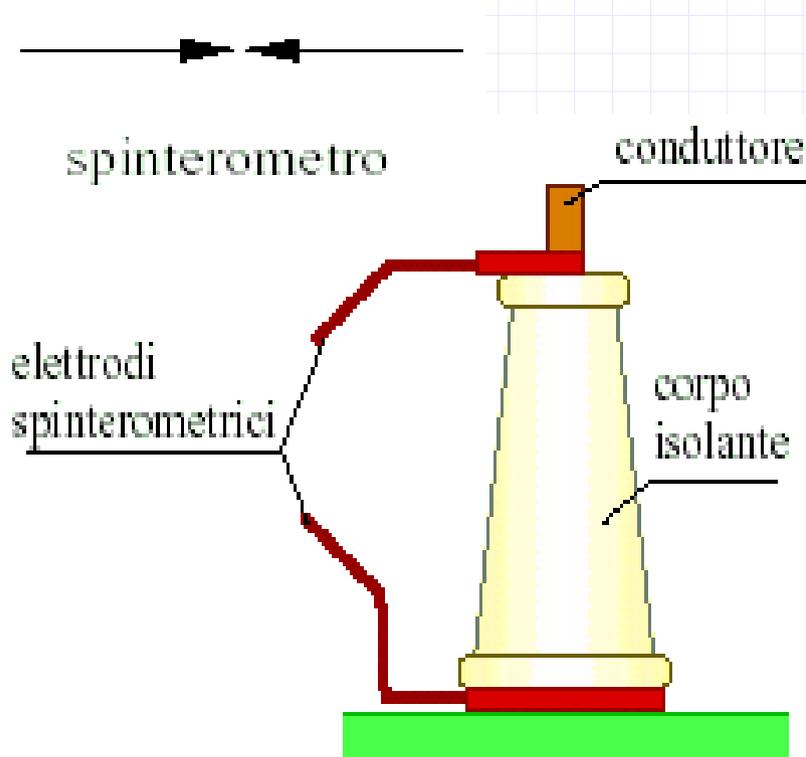
$$\Delta E = \frac{\rho}{S} \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \cos \varphi_h + x_l \sum_{h=1}^k l_{Ah} I_h \sin \varphi_h < \Delta E_{max}$$

# Componenti: scaricatori

In un sistema elettrico possono presentarsi tensioni superiori a quelle nominali (**sovratensioni**) e possono avere origine

- ▶ **interna** ( $>U_n$ , durate dell'ordine dei ms) e sono dovute a manovre di chiusura o di apertura, rapide variazioni di carico, fenomeni di risonanza, guasti (contatti accidentali, cedimenti di isolamenti)
- ▶ **esterna** ( $>>U_n$ , durate del fronte dell'ordine di  $\mu s$  della coda decine di  $\mu s$ ) sono dovute a *fulminazione diretta o indiretta*.

Dalle sovratensioni ci si protegge mediante gli **scaricatori**.



# Componenti: interruttori automatici

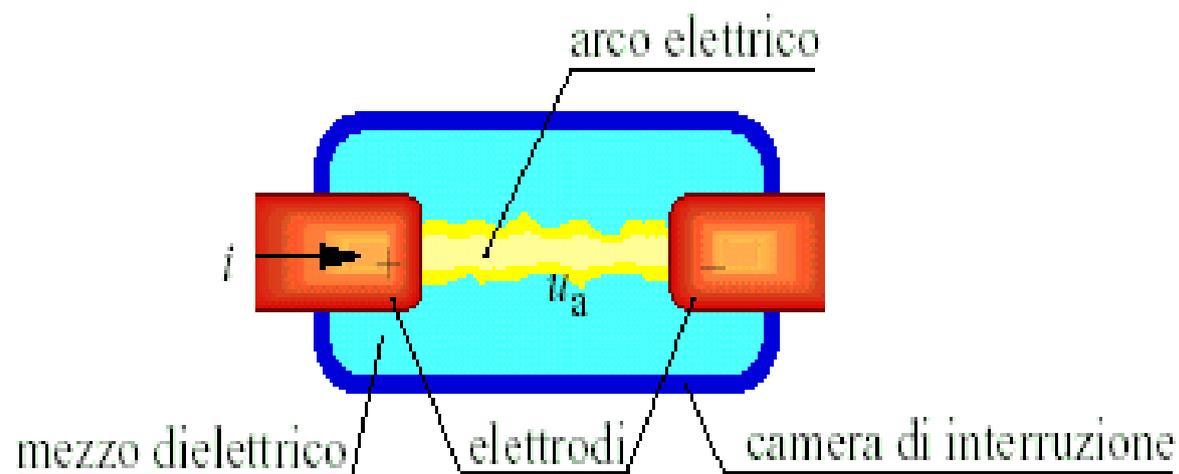
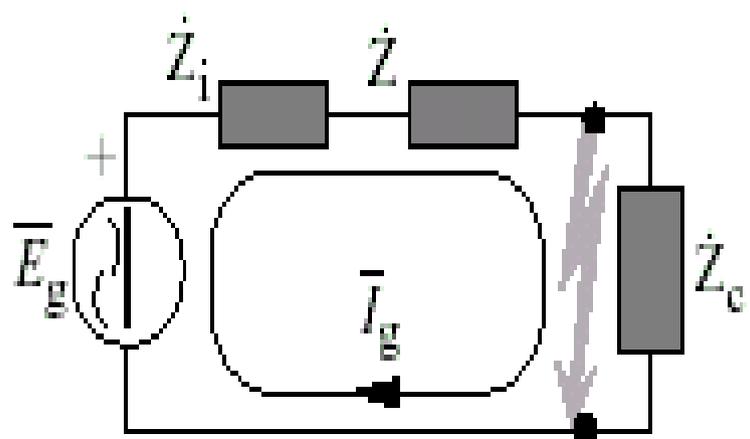
In un sistema elettrico possono presentarsi correnti superiori a quelle nominali (**sovracorrenti**) e possono essere originate da

► **sovraccarico transitorio** (e.g., inserzione di motori, 8 In, o di trasformatori a vuoto, maggiori anche a 30 In)

► **sovraccarico permanente** (e.g., inserzione di carichi superiori a quelli previsti in fase di progettazione)

► **sovraccarico di cortocircuito** (guasto)

Dalle sovracorrenti ci si protegge mediante gli **interuttori automatici**.



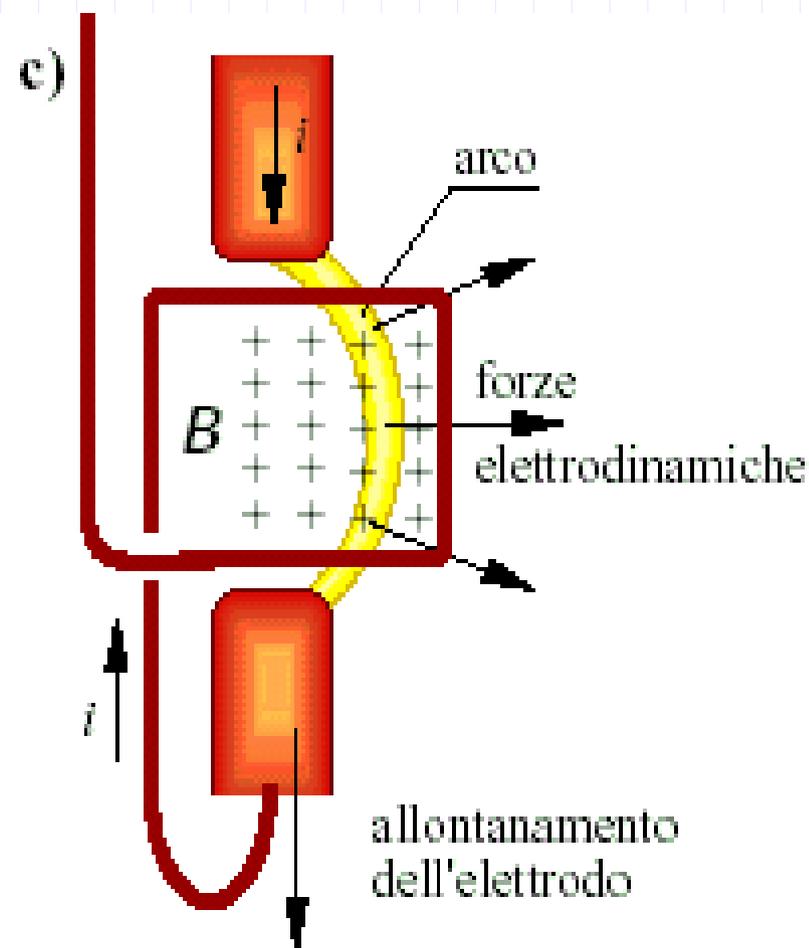
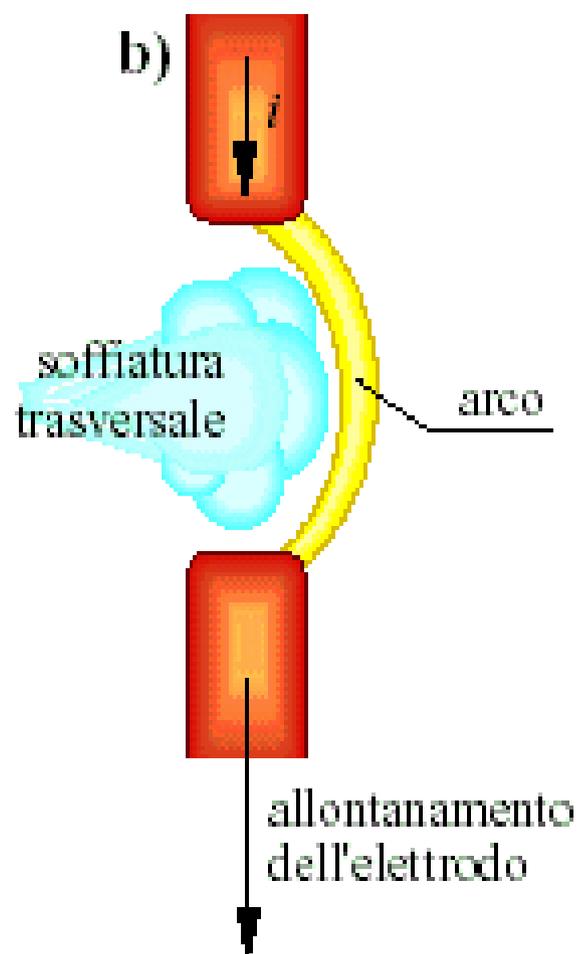
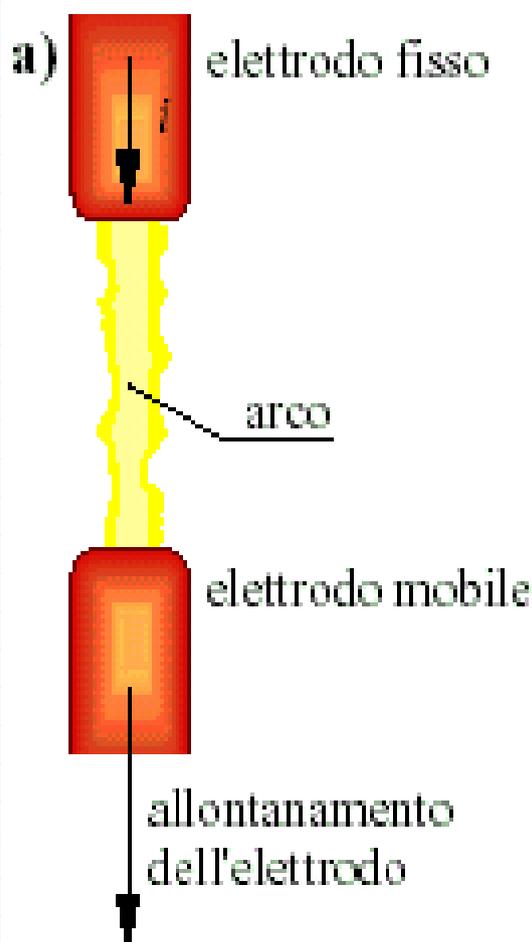
# Componenti: interruttori - estinzione arco



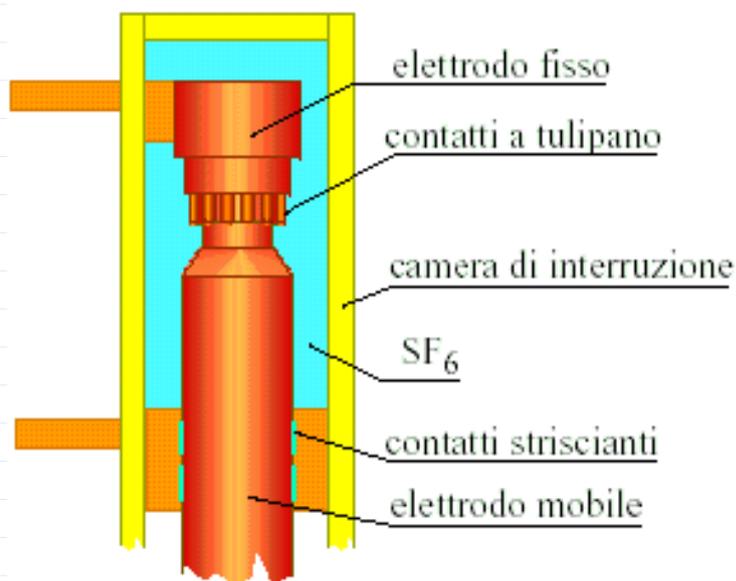
interruttore di potenza



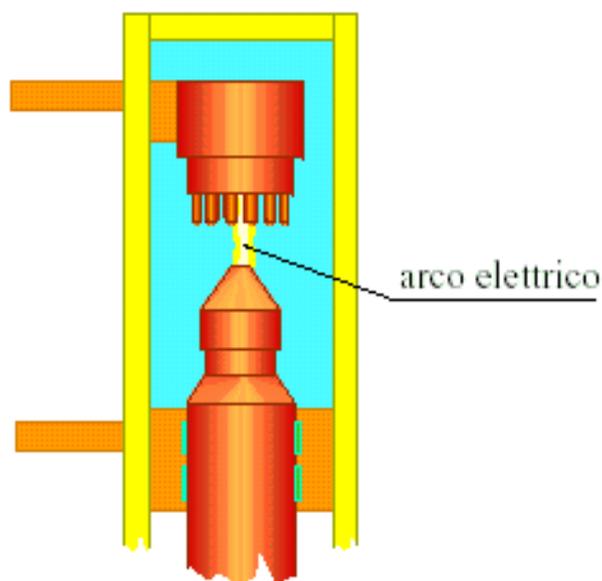
interruttore di potenza ad apertura automatica



# Componenti: interruttori di potenza

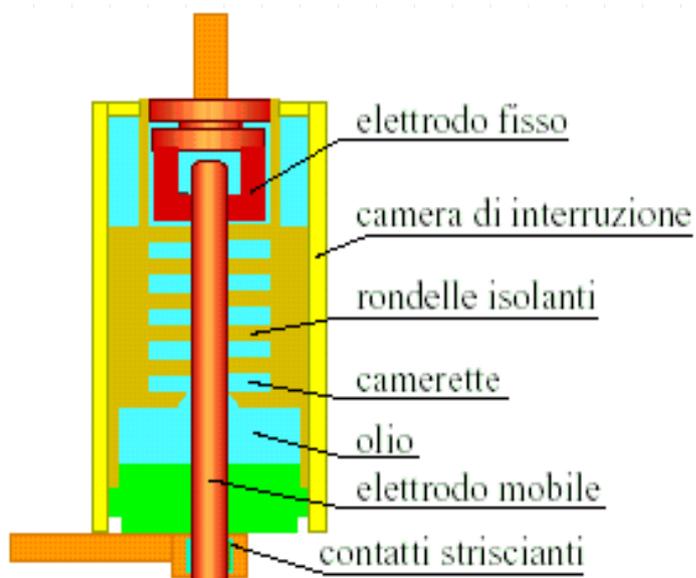


interruttore chiuso

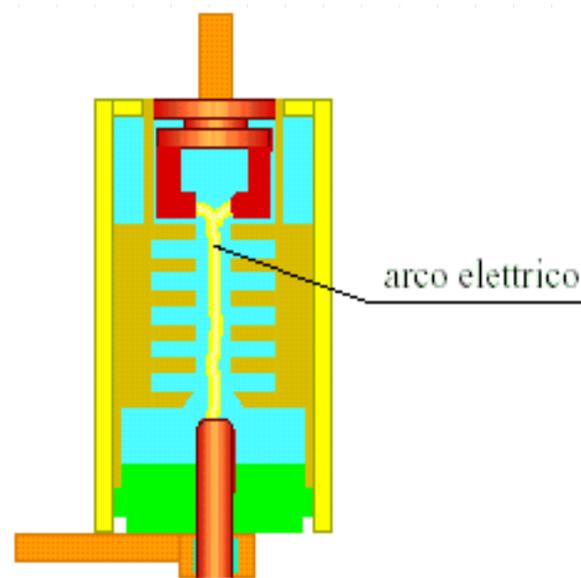


interruttore in fase di apertura

in esafluoruro di zolfo, SF<sub>6</sub>



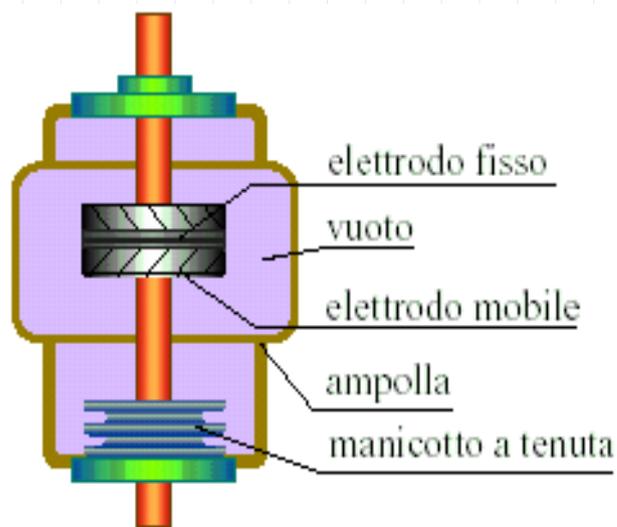
interruttore chiuso



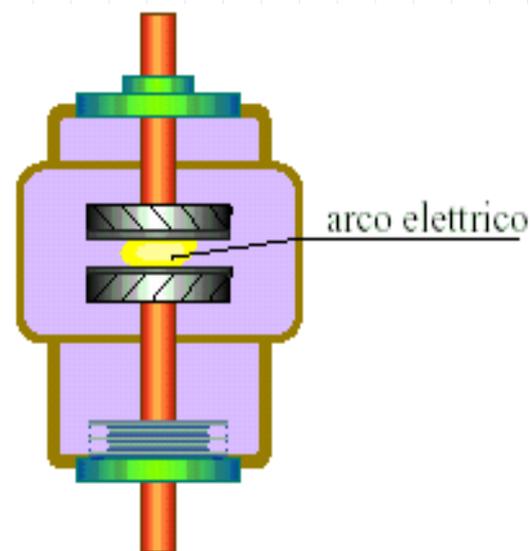
interruttore in fase di apertura

a volume d'olio ridotto

# Componenti: interruttori di potenza

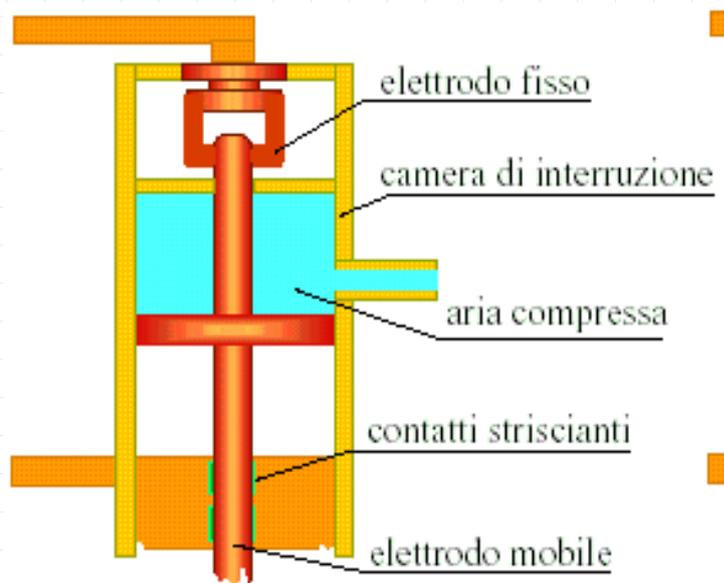


interruttore chiuso

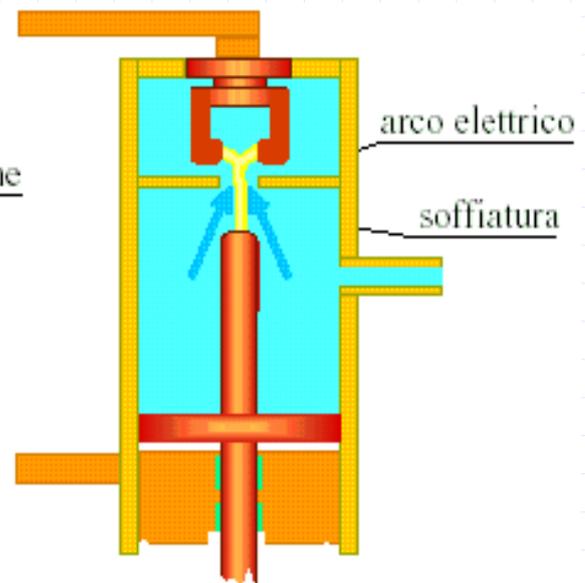


interruttore in fase di apertura

← in vuoto



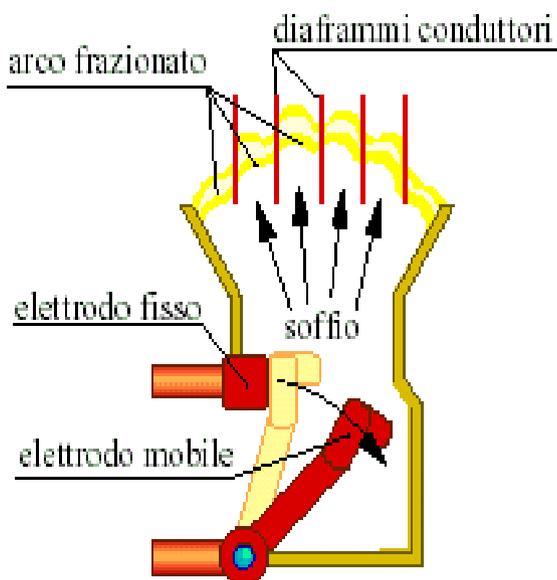
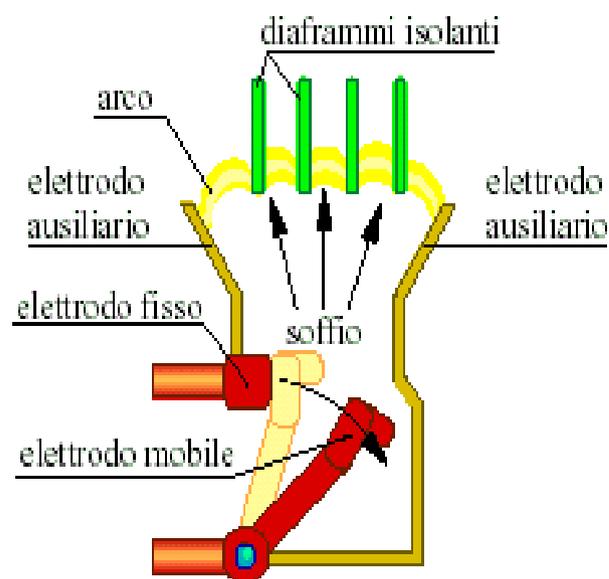
interruttore chiuso



interruttore in fase di apertura

← ad aria compressa

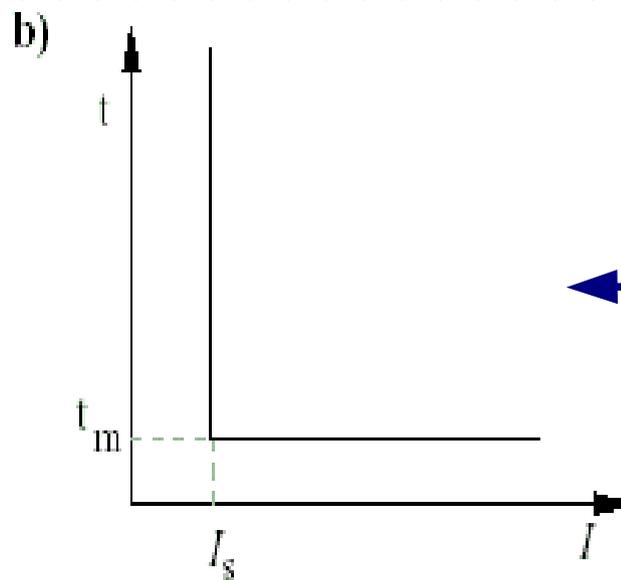
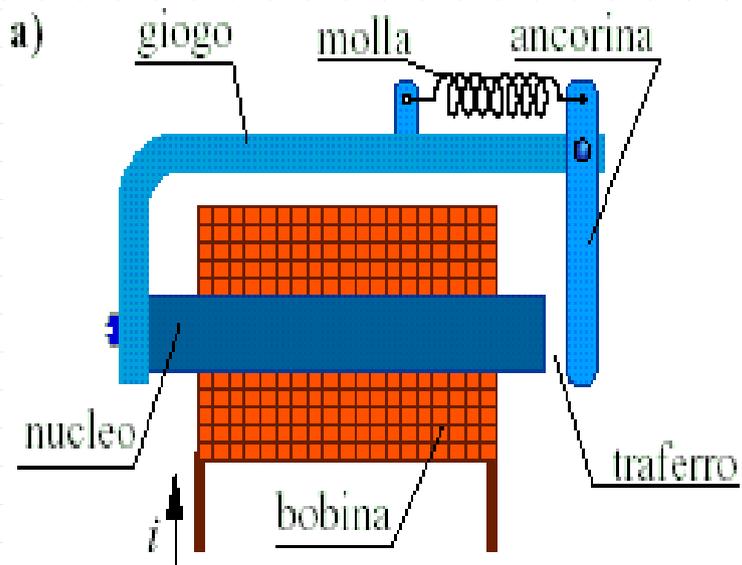
# Componenti: interruttori di potenza



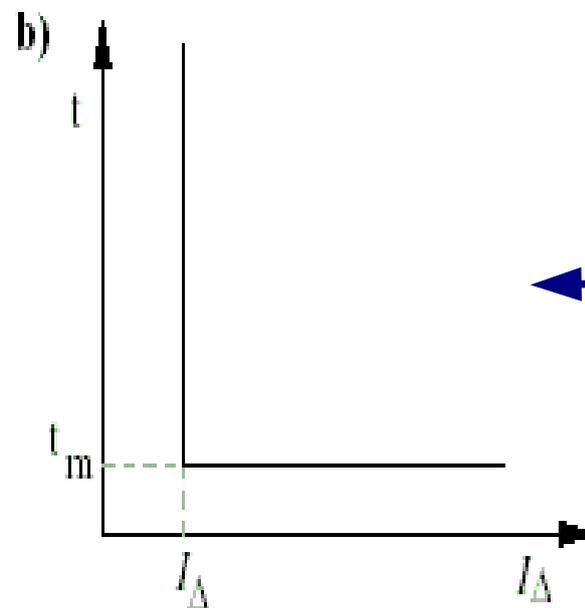
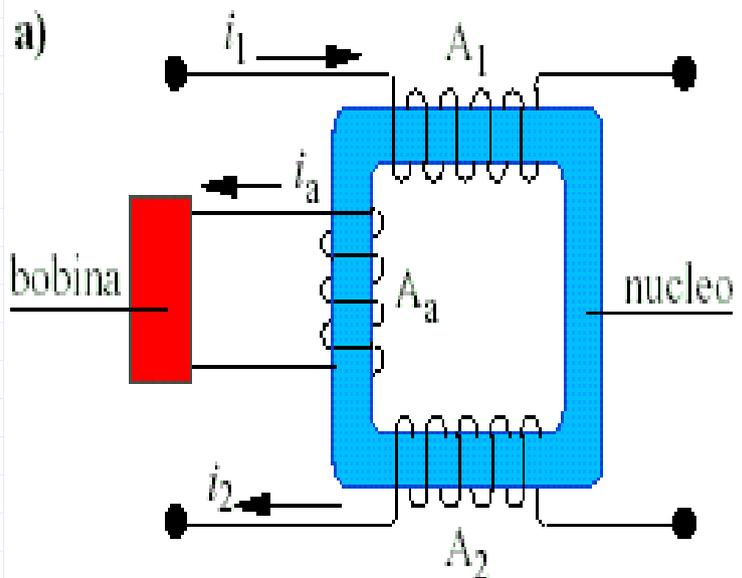
← in aria libera

TIPO DI INTERRUTTORE	AAT	AT	MT	BT
in SF6				
a volume d'olio ridotto	prevalente	prevalente	prevalente	
in vuoto			modesto	
in aria compressa	modesto	modesto	elevato	
in aria libera				dominante

# Componenti: relè

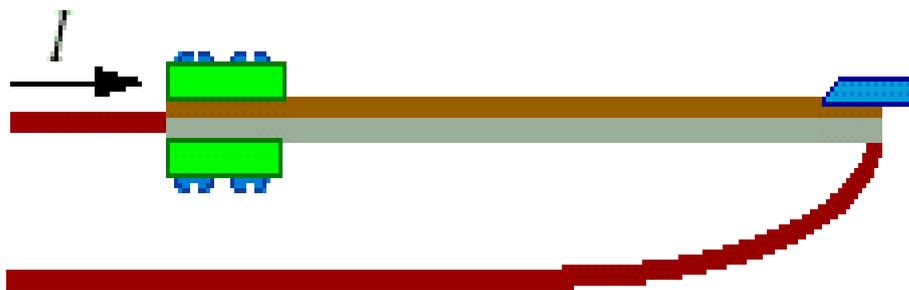
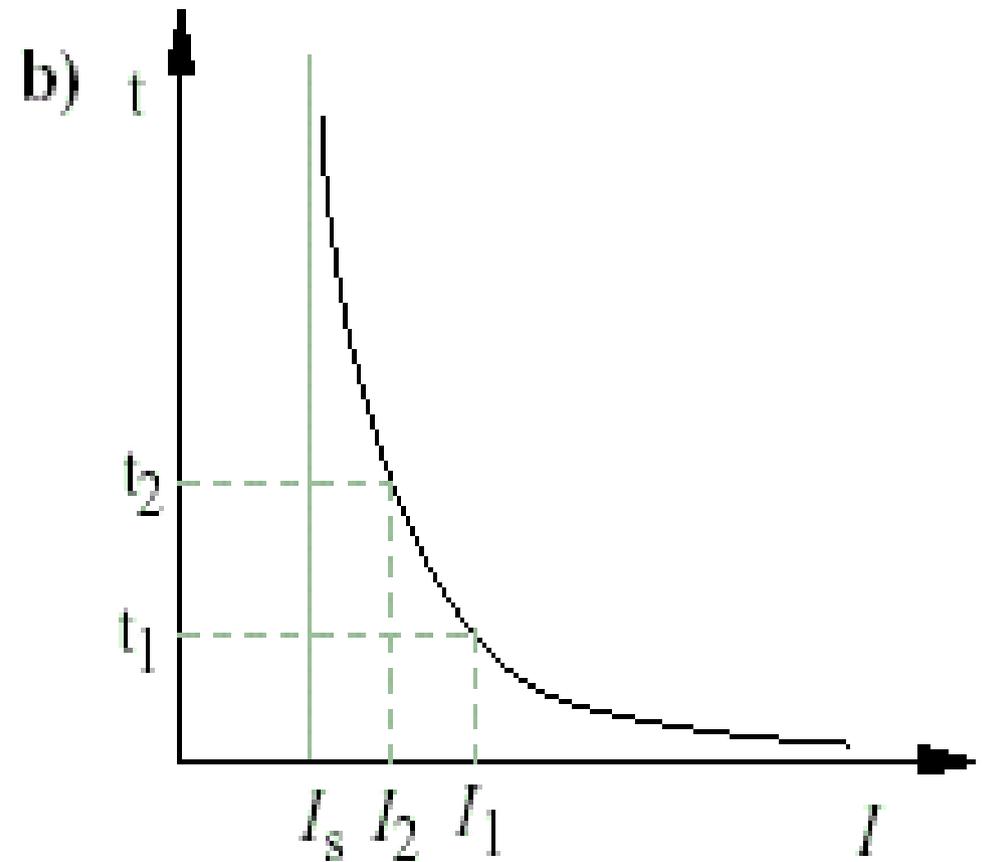
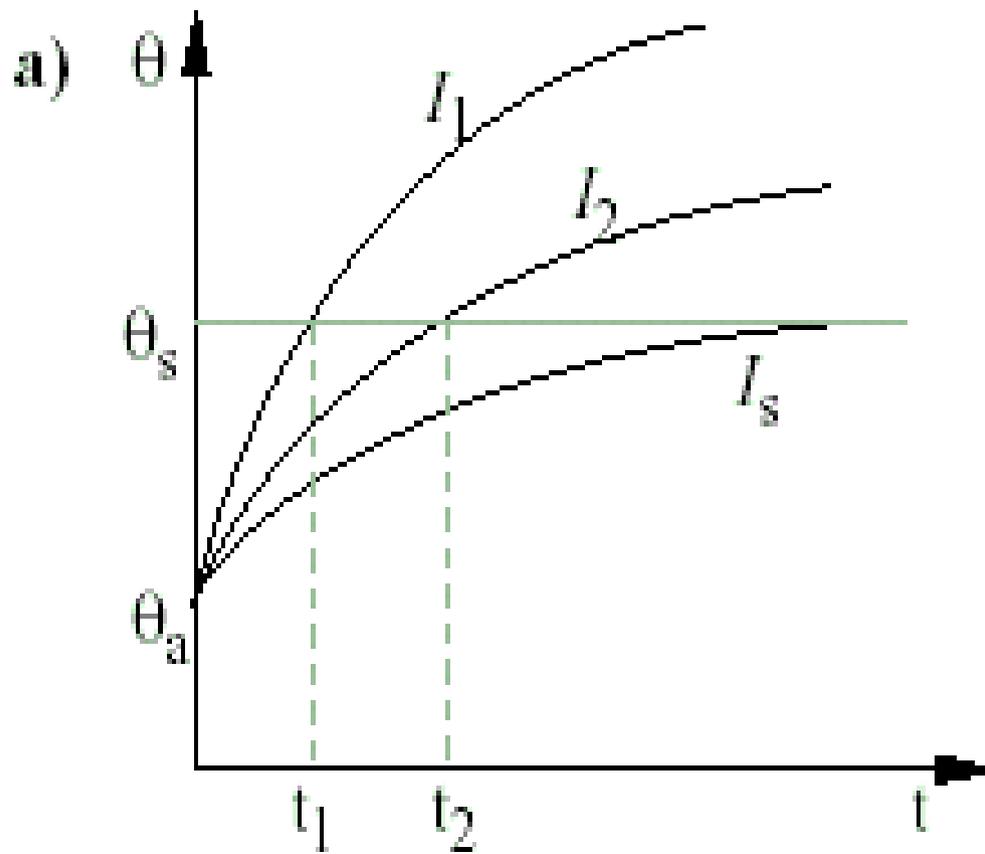


Relé elettromagnetico

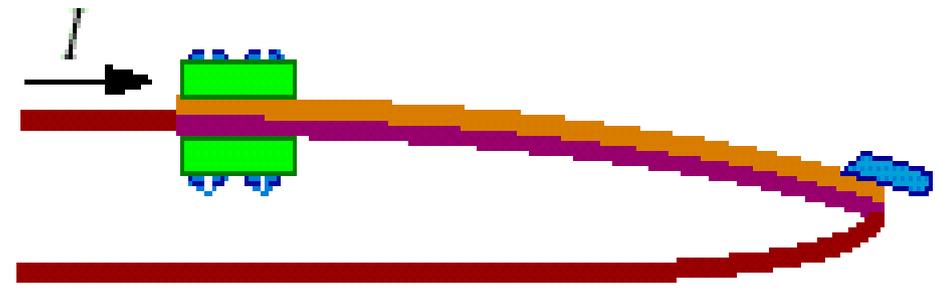


Relé differenziale

# Componenti: relè termico

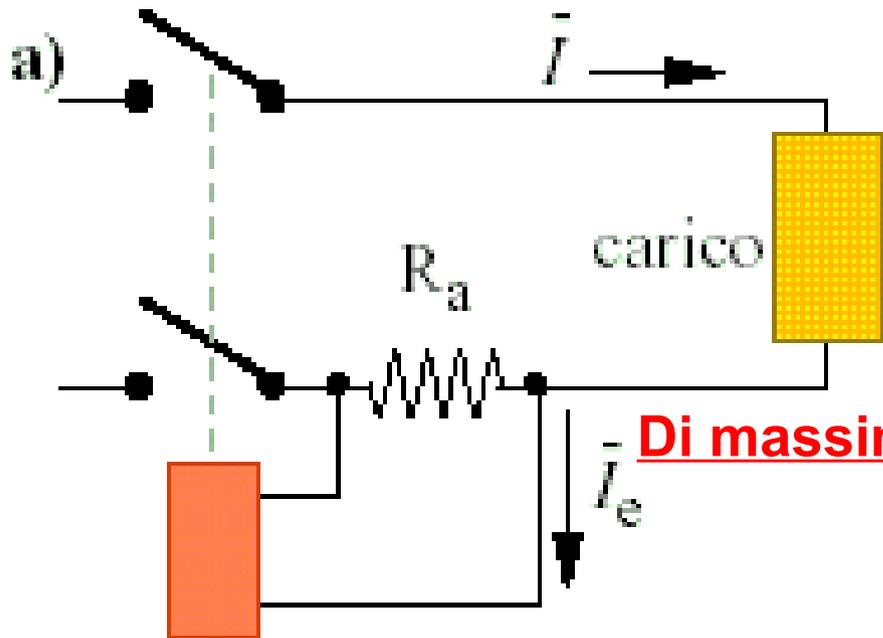


a) lamina bimetallica indeformata

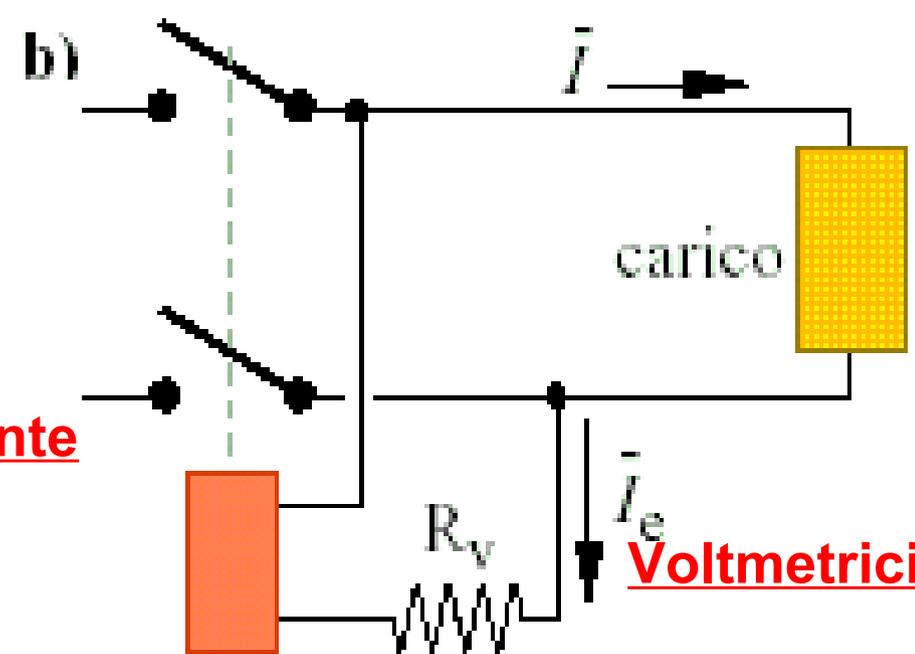


b) lamina bimetallica deformata

# Componenti: sganciatori

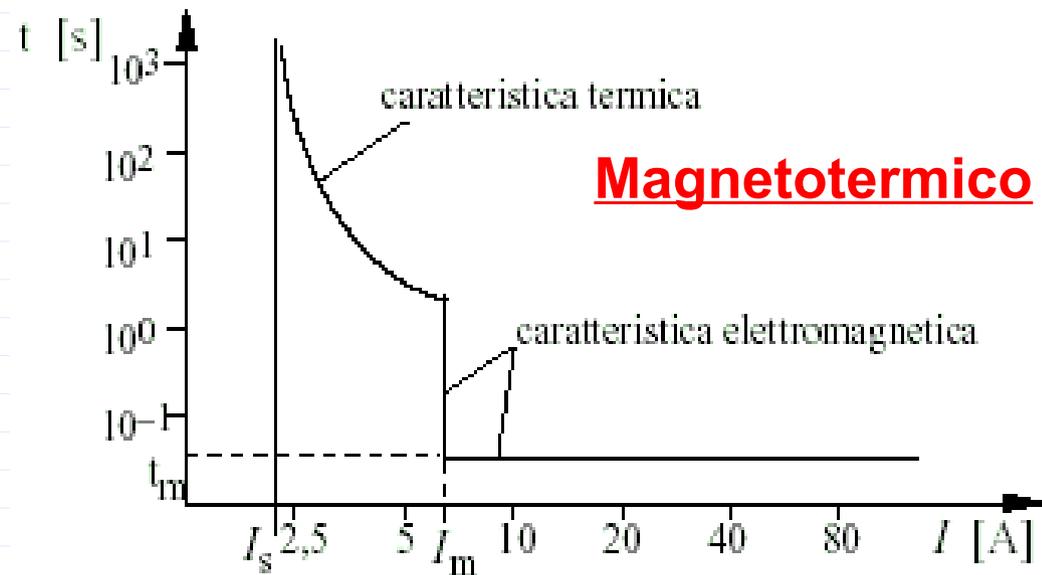
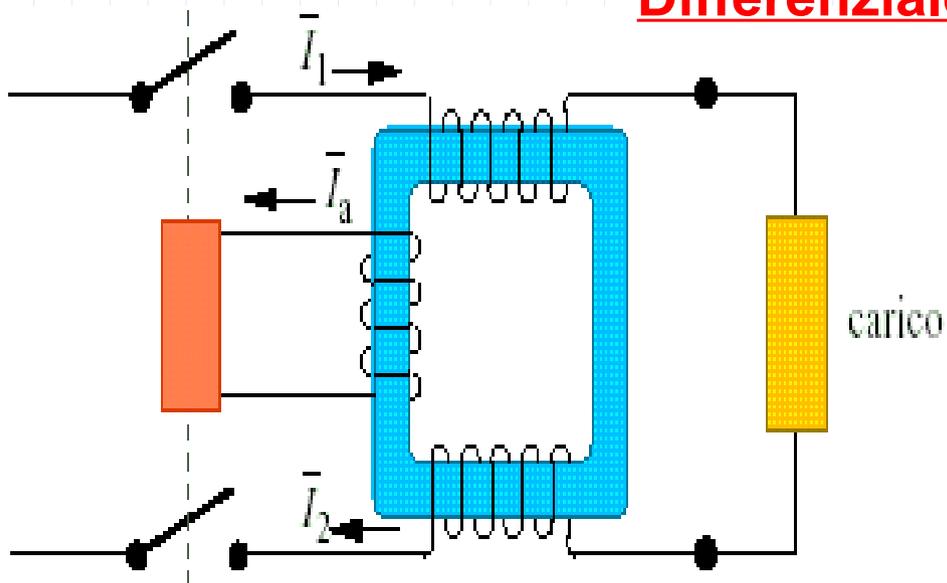


**Di massima corrente**



**Voltmetrici**

**Differenziale**



**Magnetotermico**

# Componenti: interruttori automatici

In base all'uso prevalente si suddividono in:

- per usi domestici e similari (anche industriali) – Norma CEI 23-3
- per usi industriali

Da un punto di vista costruttivo, possono essere di tipo:

- **aperto** (protezione trafo, elevati correnti nominali 800-6000 A)
- **scatolato** (in plastica) hanno prestazioni inferiori e sono tipicamente impiegati nei quadri di distribuzione di BT
- **modulari**, hanno dimensioni standardizzate con bloccaggio a scatto su guide prefabbricate, sono di larghissima diffusione nei quadri terminali di BT

Da un punto di vista dell'interruzione della corrente possono essere:

- **limitatori**, limitano l'energia specifica passante [ $I < 0.2 I_p = 0.2 (2,2 I_{cc})$ ]
- **rapidi**, interruzione al primo o al secondo passaggio per lo zero della corrente [ $I < 0.8 I_p = 0.8 (2,2 I_{cc})$ ]
- **selettivi**, l'intervento è opportunamente ritardato per consentire la selettività con le protezioni di valle.

Possono avere (ed interrompere) uno o più poli (e.g., unipolari, bipolari – con uno o due poli protetti -, tripolari - con tutti i poli protetti - e quadripolari – con tre o quattro poli protetti).

# Componenti: interruttori automatici

Alcuni valori nominali degli:

- interruttori per usi domestici e similari (anche industriali) – CEI 23.3

tensione nominale (230, 400 V)

corrente nominale (6-10-13-16-20-25-32 ... 125 A)

corrente convenzionale di non intervento del termico  $I_{nf}$

$$I_{nf} = 1,13I_n \quad I_n \leq 63A \quad t \geq 1h - \quad I_n > 63A \quad t \geq 2h$$

corrente convenzionale di intervento del termico  $I_f$

$$I_f = 1,45I_n \quad I_n \leq 63A \quad t < 1h - \quad I_n > 63A \quad t < 2h$$

corrente di intervento istantaneo del magnetico (no ritardo intenzionale)

potere di c.to c.to: di servizio  $I_{cs}$

estremo  $I_{cn}$  (nom. 1.5-3-4.5-6-10-15-20-25 kA)

$$I_{cn} \quad \leq 6 \text{ kA} \quad 6-10 \text{ kA} \quad > 10 \text{ kA}$$

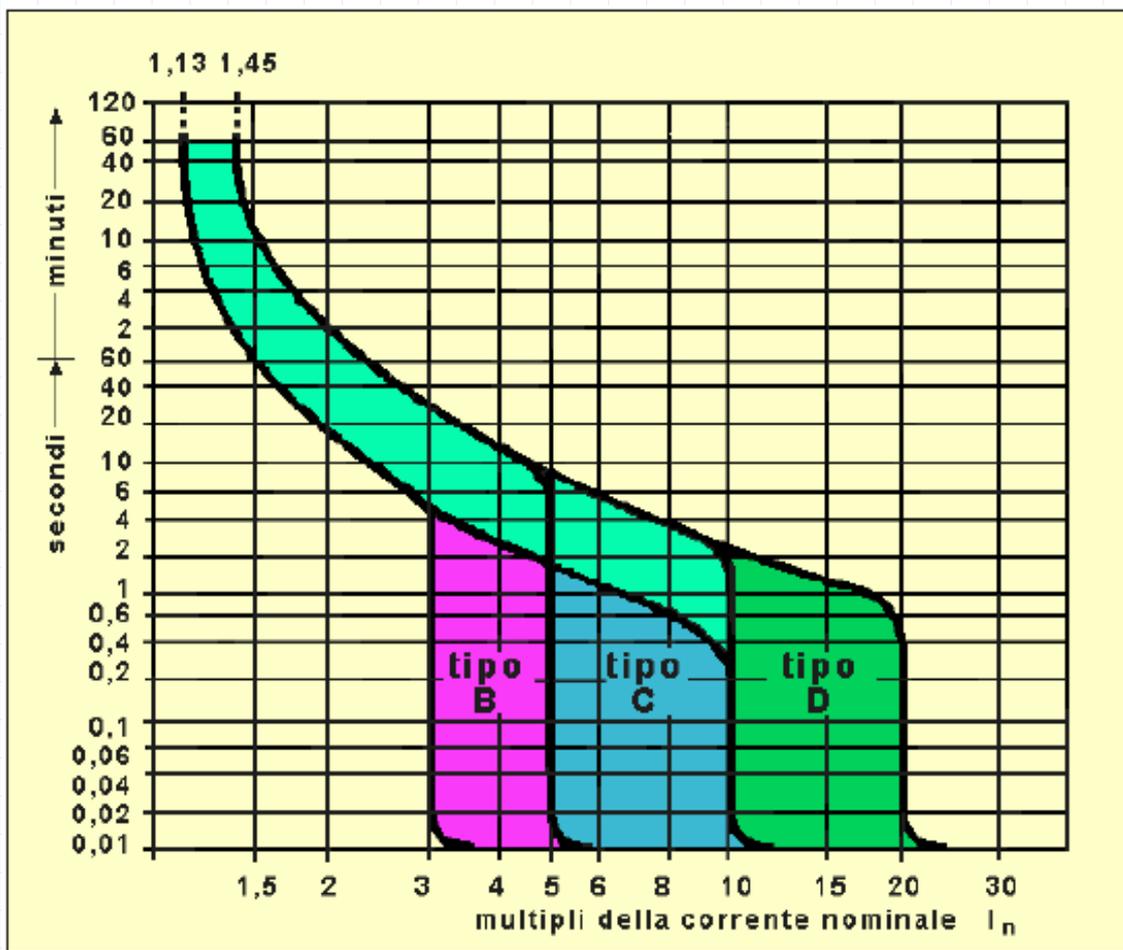
$$I_{cs}/I_{cn} \quad 1 \quad 0,75 \quad 0,5$$

classe energia specifica passante

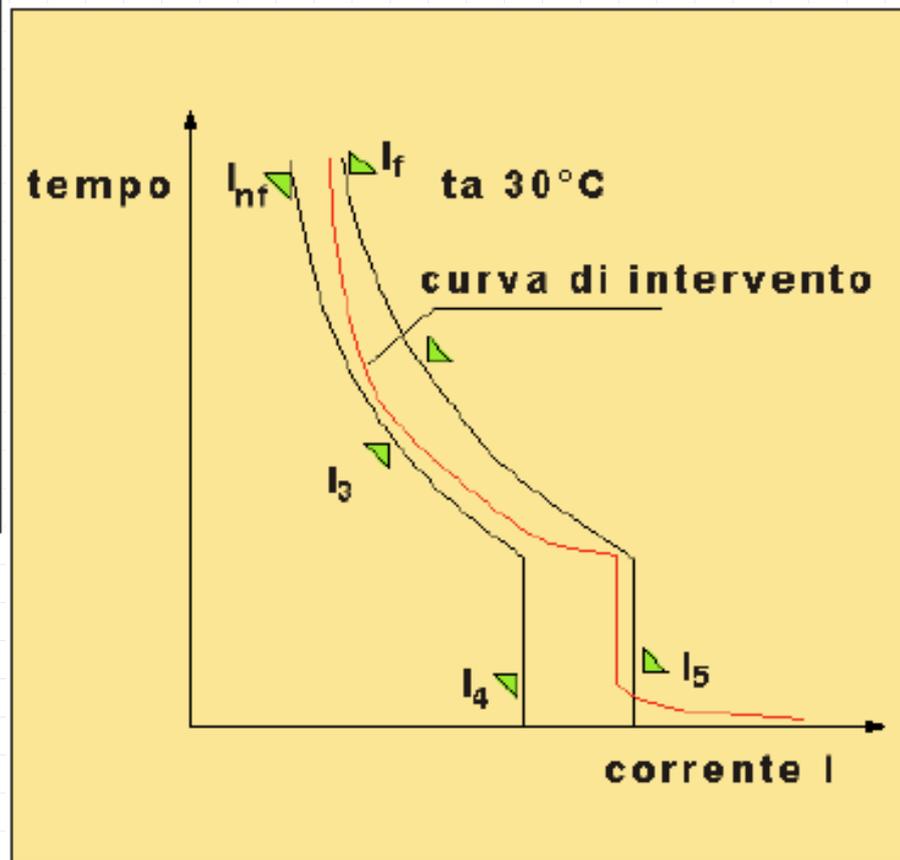
- interruttori per usi industriali

...

# Componenti: interruttori automatici

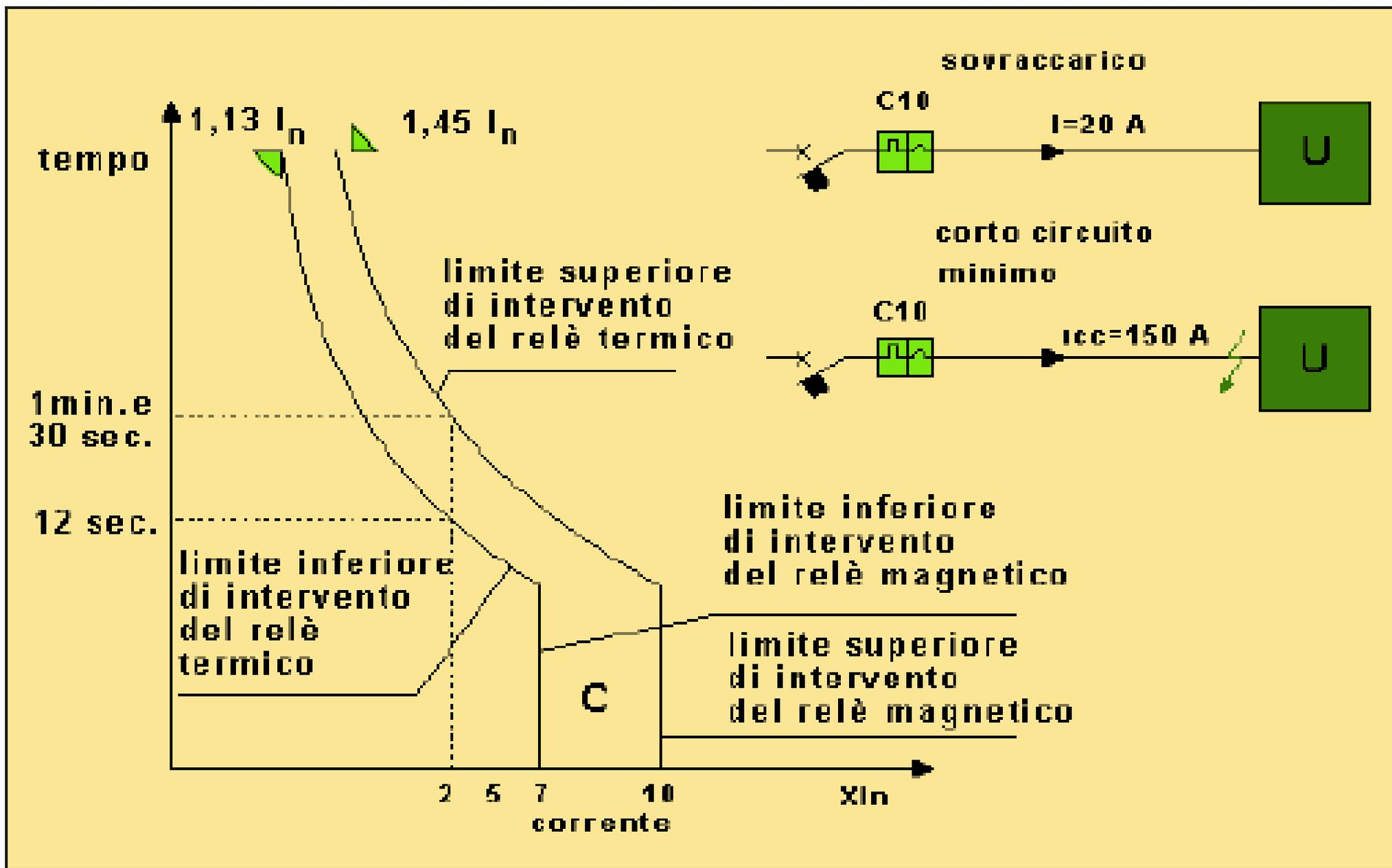


- B 3-5  $I_n$  piccole correnti di inserz.
- C 5-10  $I_n$  ohmico induttivo con medie correnti di spunto
- D 10-20  $I_n$  elevate correnti di inserzione (trasformatori, motori, ecc.)



$I^2t$	1		2		3	
	B	C	B	C	B	C
16 A	3 kA	NO	31000	37000	.....	.....
	6 kA	NO	100000	120000	.....	.....
	10 kA	NO	240000	290000	.....	.....

# Componenti: interruttori automatici



# Componenti: fusibili

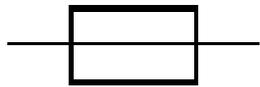
## Fusibili

gG – per uso generale

gM – protezione motori

aM – per uso combinato

a)



fusibile

b)

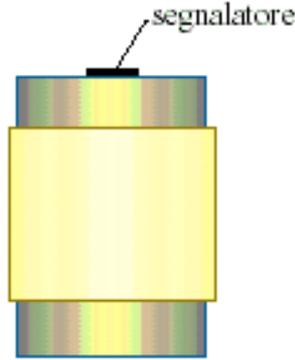


fusibile con indicazione del morsetto in tensione

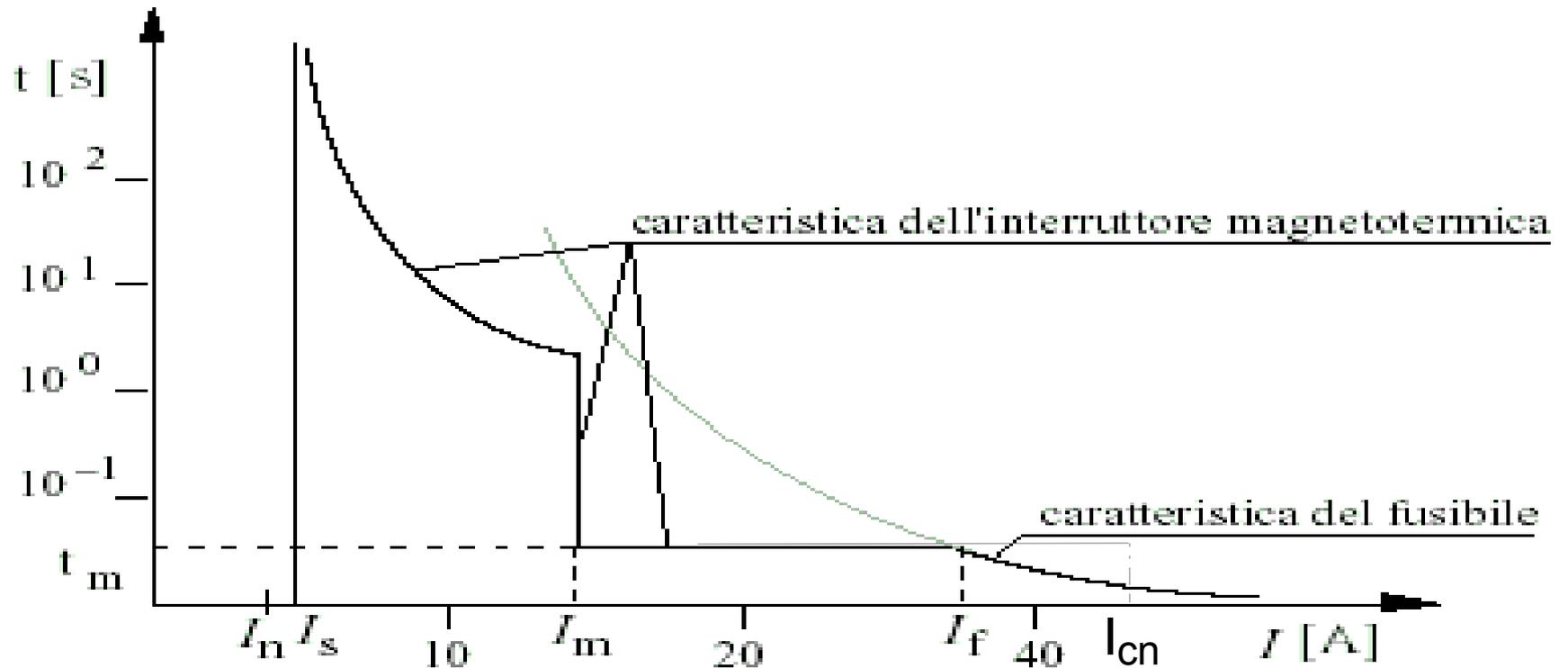
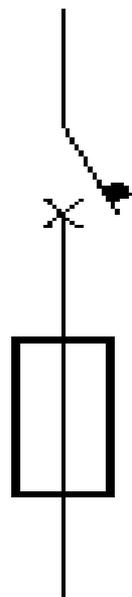
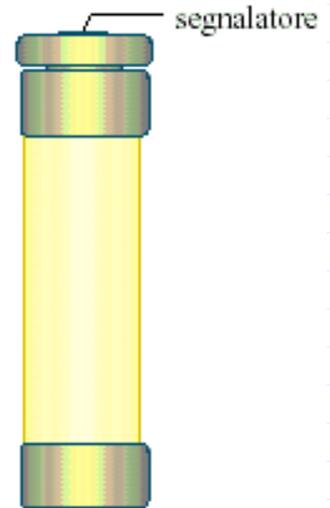
a)



b)



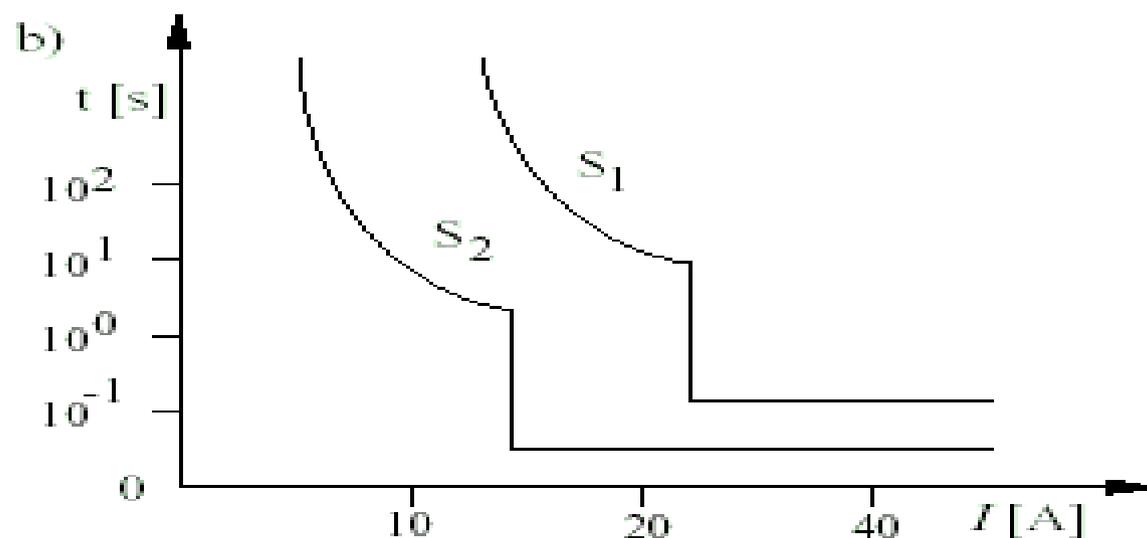
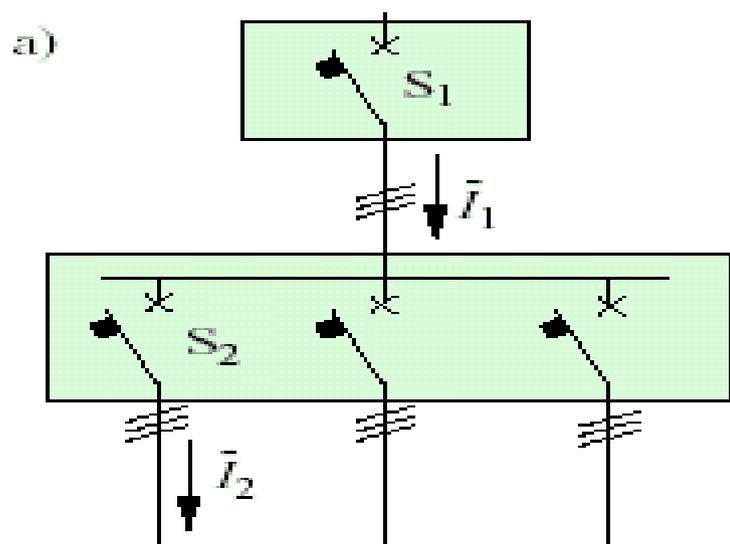
c)



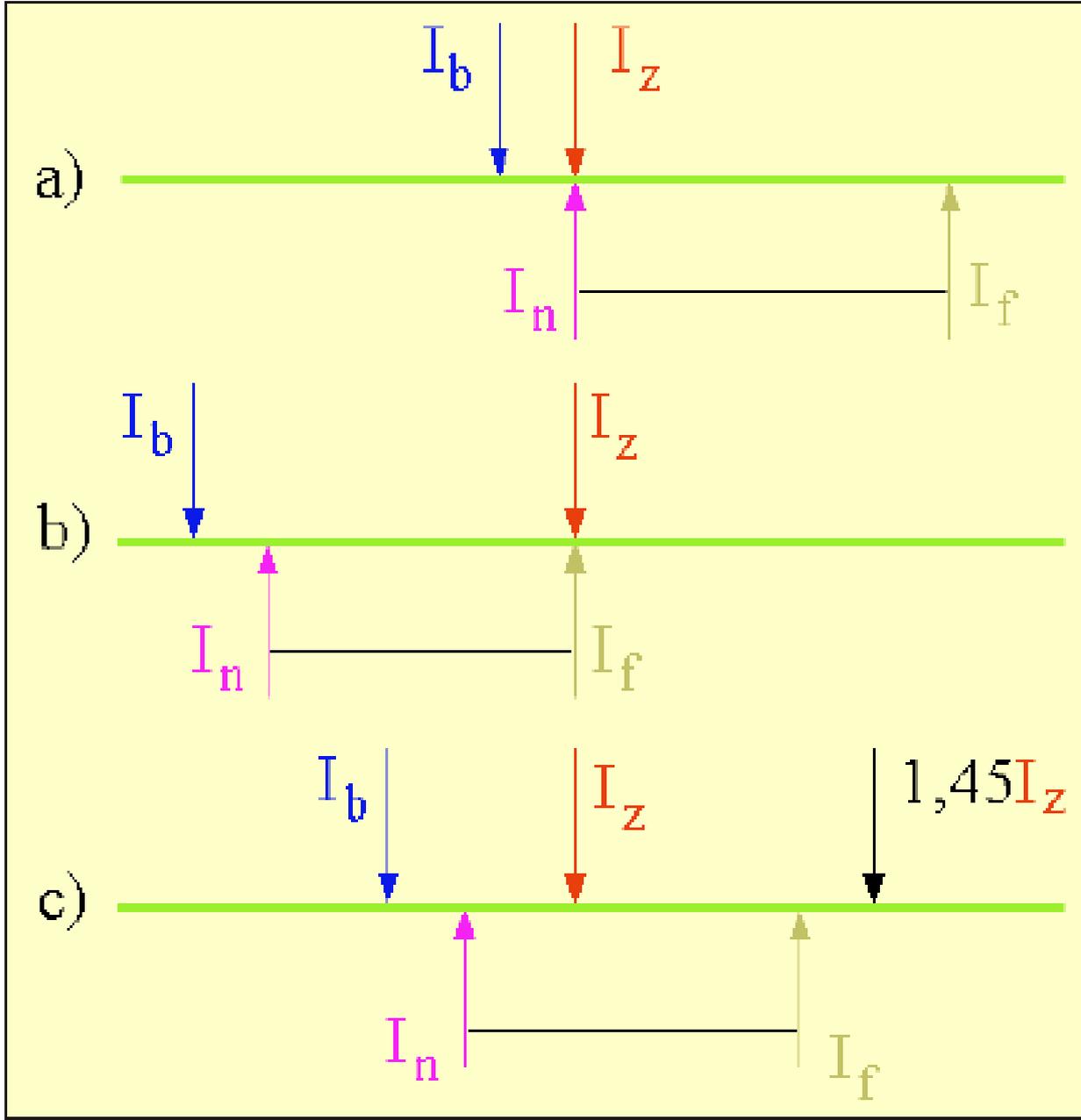
# Componenti: coordinamento protezioni

## Coordinamento delle protezioni

- Amperometrica
- Cronometrica



# Componenti: protezione dei cavi



a) Il cavo è sovraccaricato in modo inammissibile perché le correnti comprese tra  $I_Z$  e  $I_f$  possono non essere interrotte dal dispositivo.

b) Con  $I_Z = I_f$  la protezione del cavo è massima ma il cavo risulta essere sotto utilizzato in quanto la corrente di impiego  $I_b$ , minore di  $I_n$ , è molto inferiore alla sua portata  $I_Z$ .

c) Con il compromesso  $I_f = 1,45 I_Z$  si riduce il divario tra  $I_b$  e  $I_Z$  senza aumentare quello tra  $I_Z$  e  $I_f$  dove il cavo potrebbe non essere protetto.

IN GENERALE

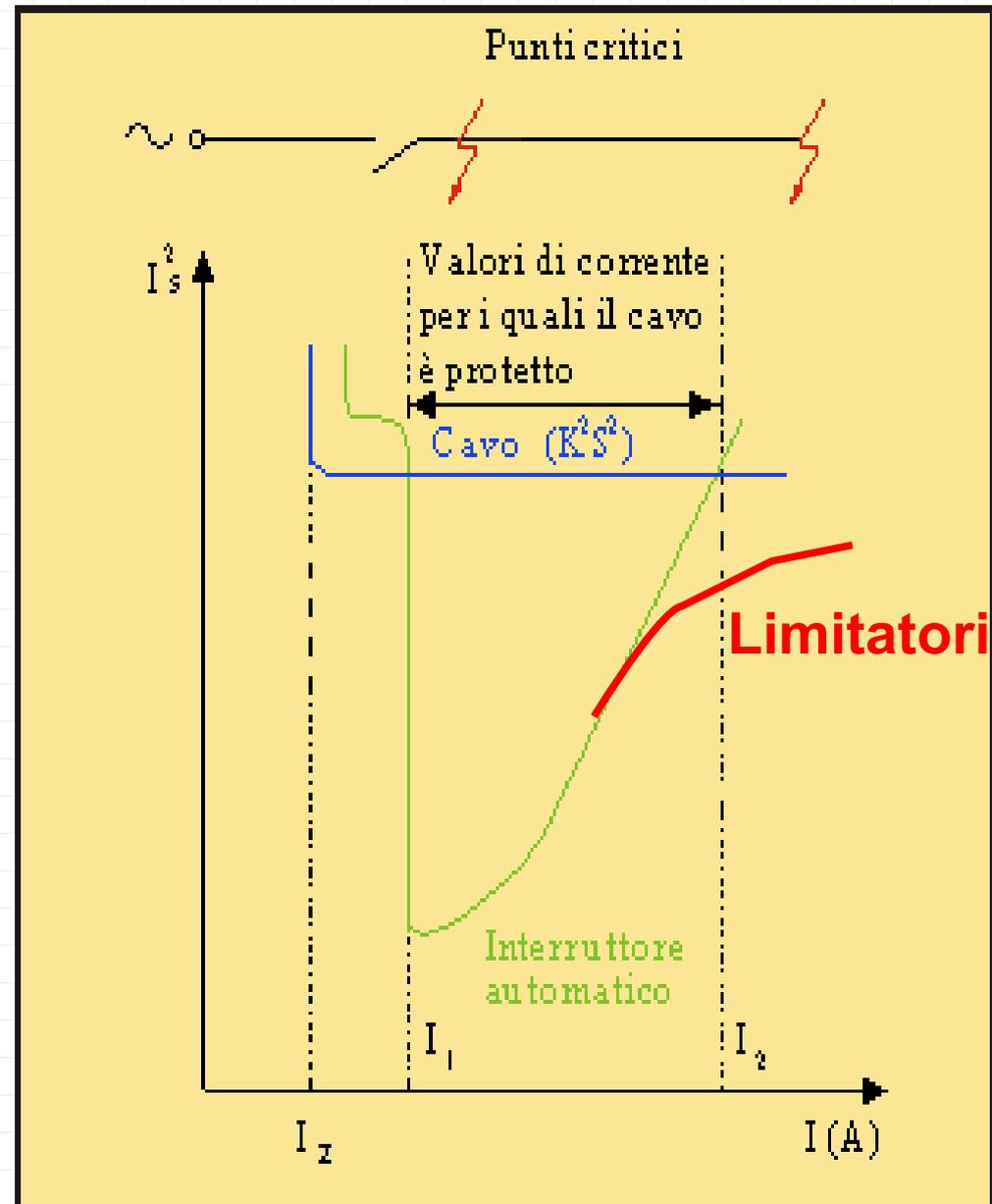
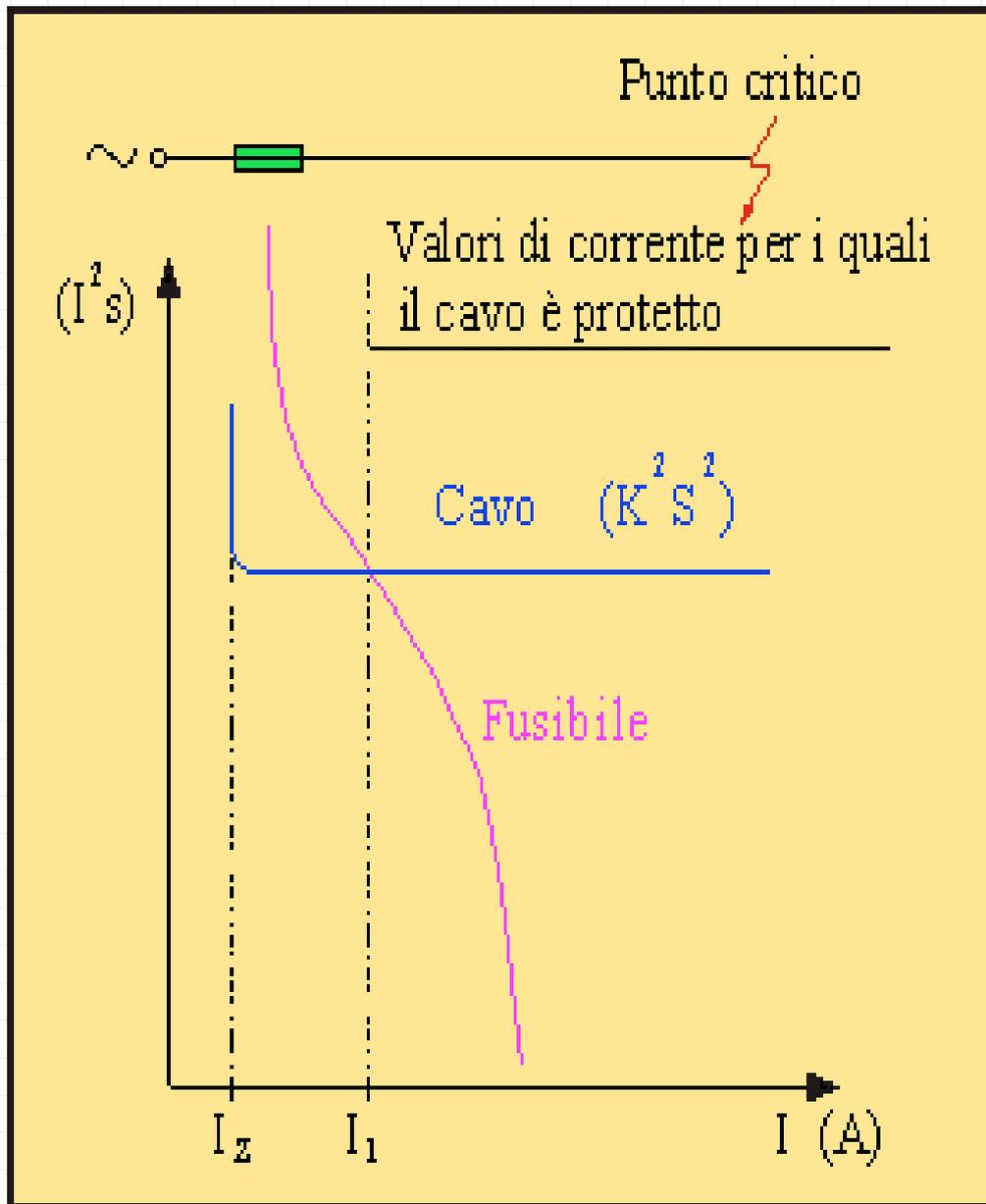
$$I_{cn} > I_{ccMAX}$$

$$I_b \leq I_n \leq I_Z \quad \text{e} \quad I_f \leq 1,45 I_Z$$

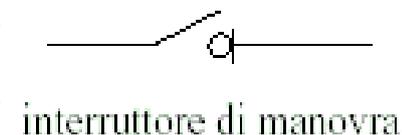
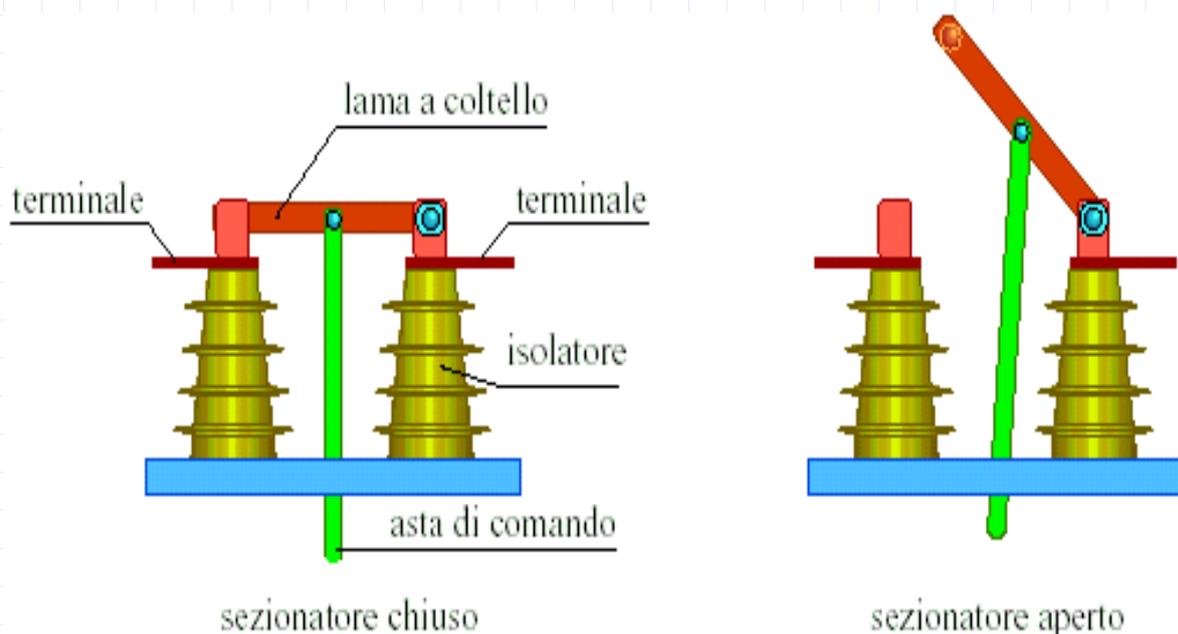
in alcuni casi anche

$$I^2 t \leq K^2 S^2$$

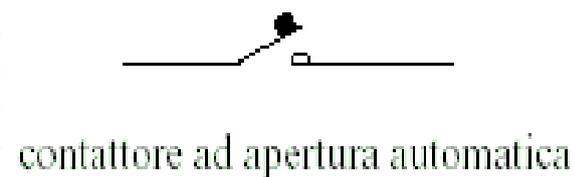
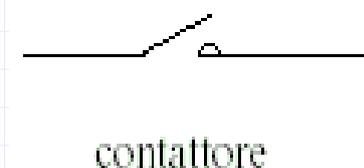
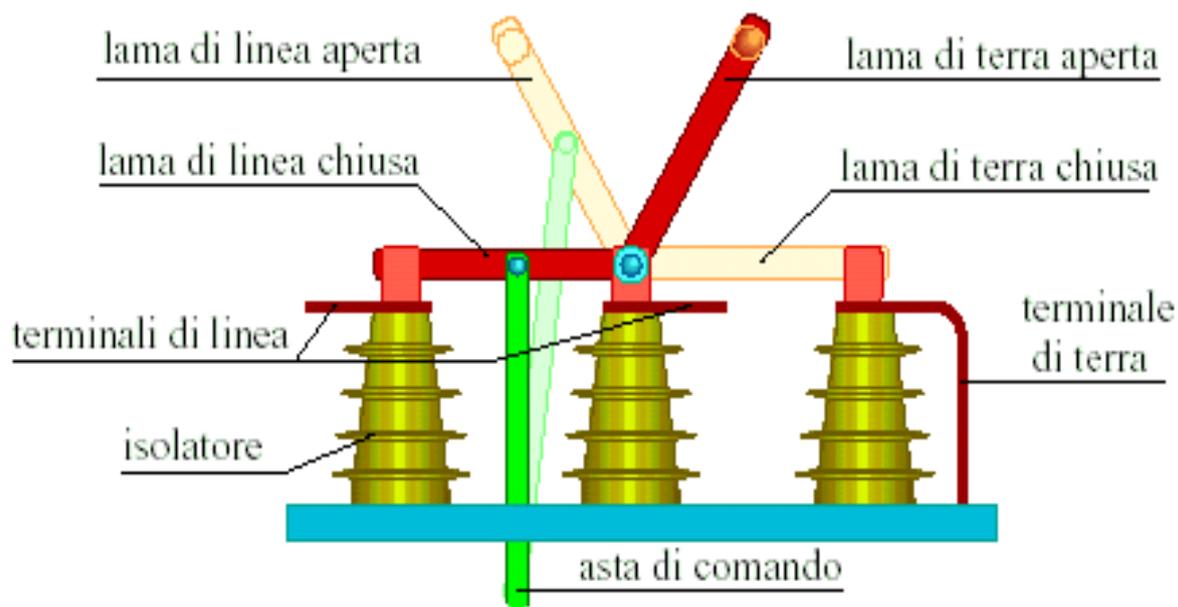
# Componenti: protezione dei cavi



# Componenti: sezionatori



interruttore di manovra ad apertura automatica



# L'impianto elettrico utilizzatore in BT

Sarà specificatamente oggetto di questo corso la sola parte dell'impianto elettrico utilizzatore in bassa tensione la cui definizione, fornita dalla **Norma CEI 64-8**, è:

*"l'insieme di componenti elettrici elettricamente associati al fine di soddisfare a scopi specifici e aventi caratteristiche coordinate. Fanno parte dell'impianto elettrico tutti i componenti elettrici non alimentati tramite prese a spina; fanno parte dell'impianto elettrico anche gli apparecchi utilizzatori fissi alimentati tramite prese a spina destinate unicamente alla loro alimentazione".*

Inoltre, la **Norma CEI 64-8** (art. 132.1) stabilisce che gli impianti elettrici

**devono garantire**

- ▶ *la protezione delle persone e dei beni;*
- ▶ *il corretto funzionamento in conformità all'uso previsto.*

# **La messa a terra nei sistemi elettrici in BT**

**L'impianto di terra**

**Classificazione dei sistemi elettrici di BT**

**Classificazione dei sistemi di distribuzione**

**Il sistema TN**

**I sistemi TT ed IT**

**Struttura dei sistemi di distribuzione**

**Classificazione dei componenti elettrici**

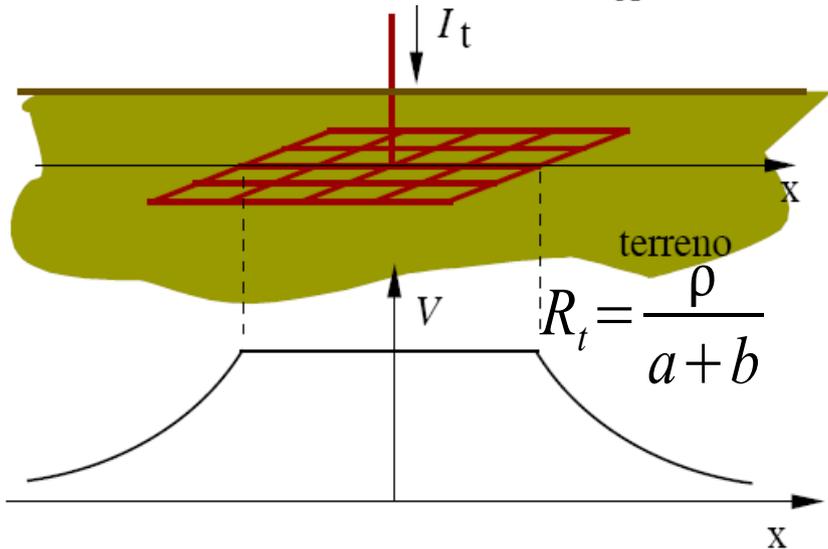
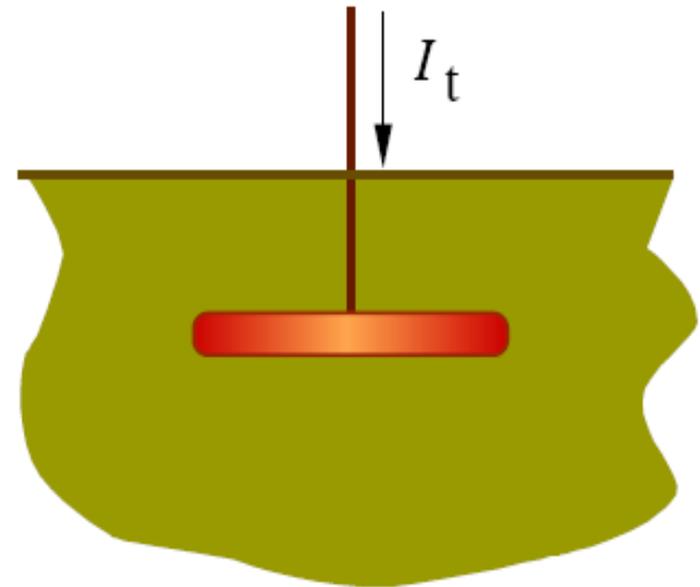
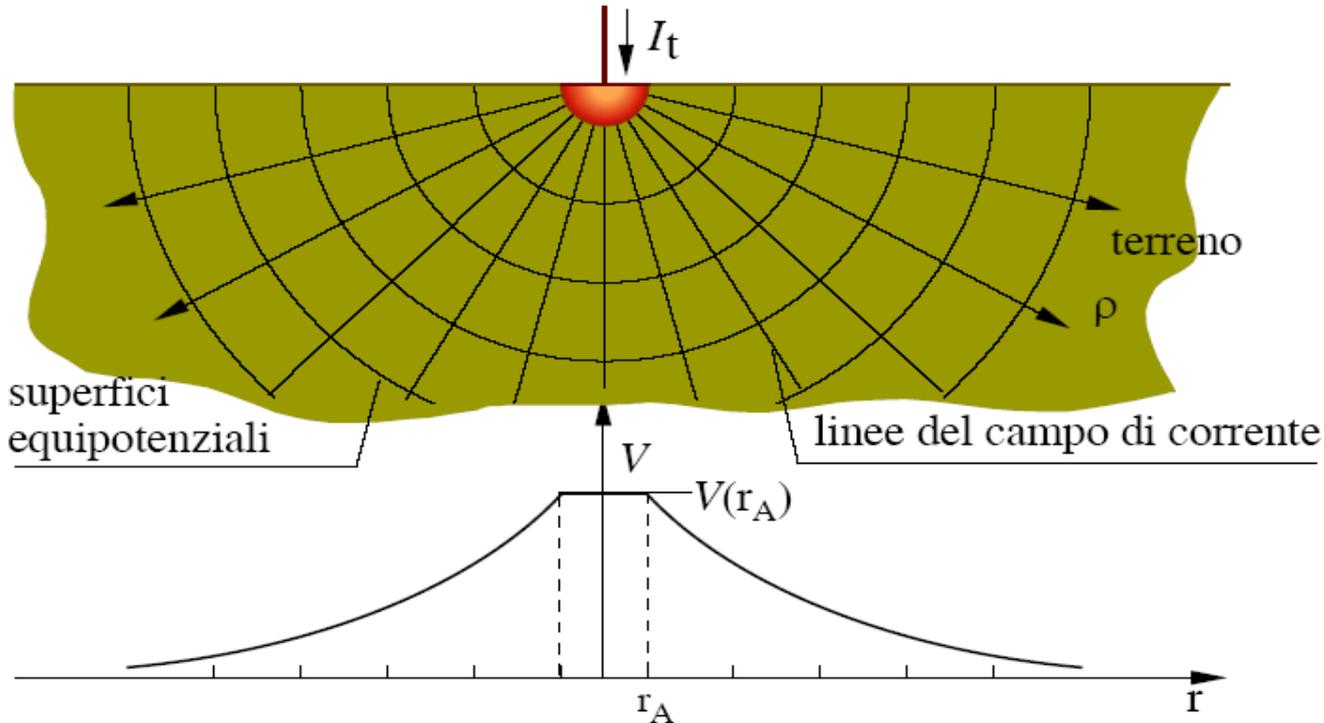
# L'impianto di terra

Un **impianto di terra** è costituito da tutti gli elementi necessari a **collegare un circuito, una massa, una massa estranea al terreno** per ottenere uno o più dei seguenti scopi:

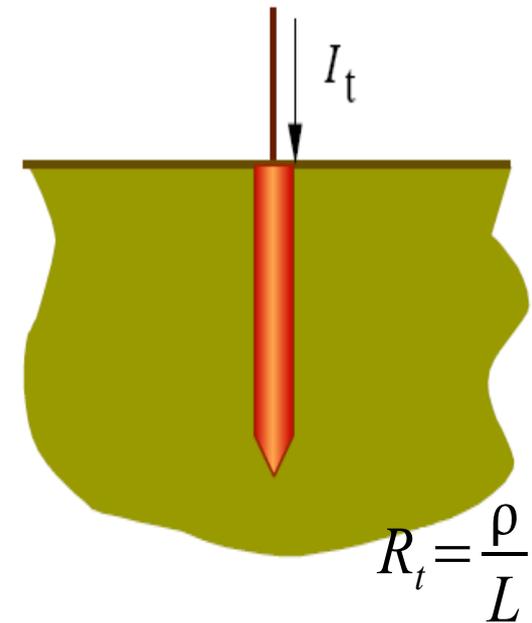
- a) offrire una **via di chiusura a bassa resistenza** alle correnti di dispersione verso terra negli impianti TT per facilitare l'intervento degli apparecchi di interruzione del guasto;
- b) **vincolare al potenziale di terra** un punto di un circuito che può essere il centro stella del trasformatore di cabina (sistemi TT e TN), il secondario di un trasformatore, per esigenze di un circuito FELV, il secondario di un trasformatore elevatore per l'alimentazione di lampade a scarica, ecc., al fine di determinare in modo univoco la tensione nominale verso terra per esigenze ai fini funzionali;
- c) **limitare la tensione totale verso terra** di una massa in avaria in un sistema IT in caso di primo guasto;
- d) **vincolare al potenziale di terra** una massa o una massa estranea al fine di controllare lo stato di isolamento rispetto ad un sistema elettrico isolato da terra (sistema IT o prot. mediante separazione elettrica).

*Si hanno inoltre impianti di terra per l'eliminazione di cariche elettrostatiche, per il funzionamento di speciali circuiti monofilo con ritorno a terra (ferrovie, tramvie) e per la protezione contro le scariche atmosferiche.*

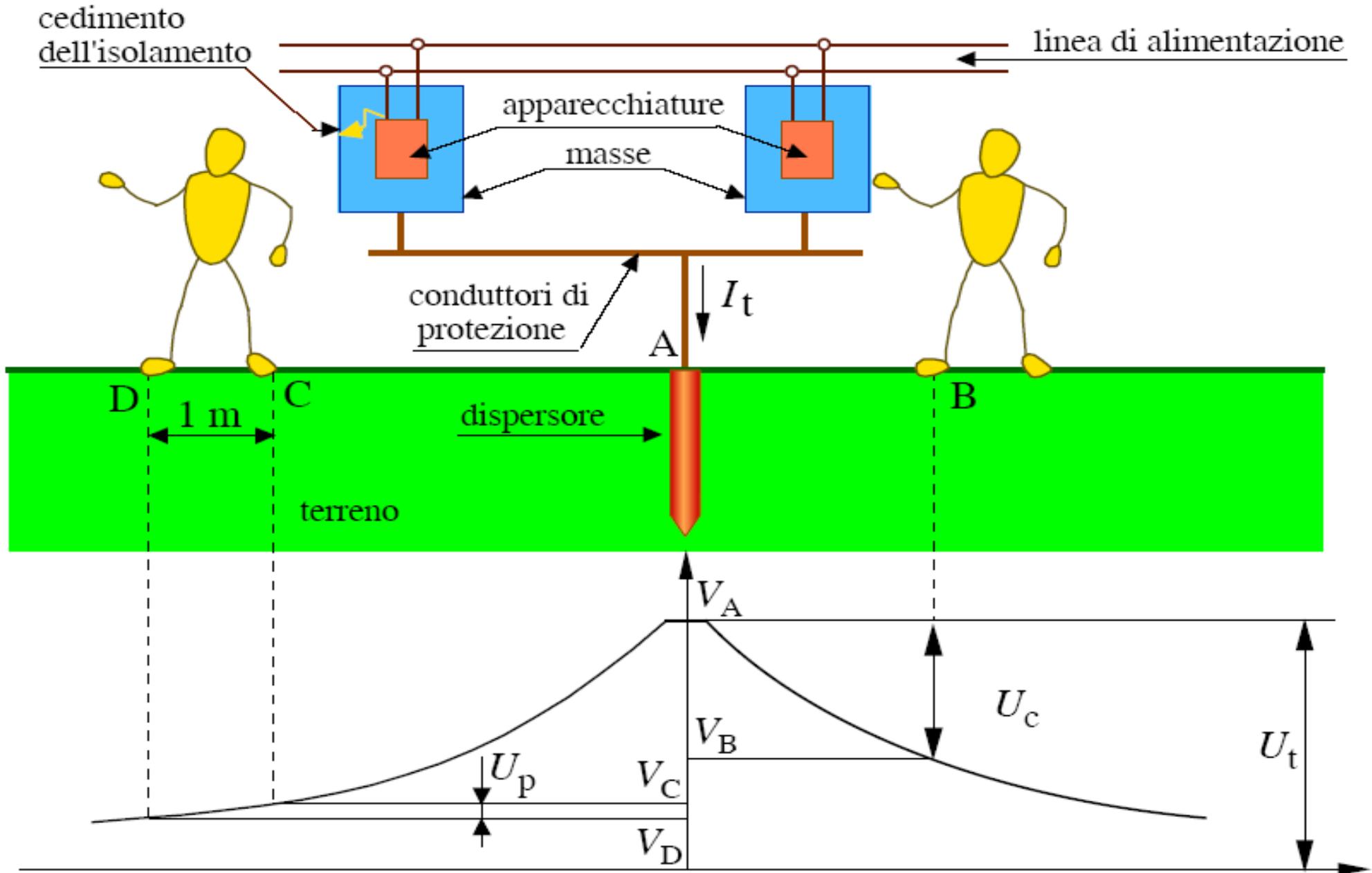
# L'impianto di terra: i dispersori



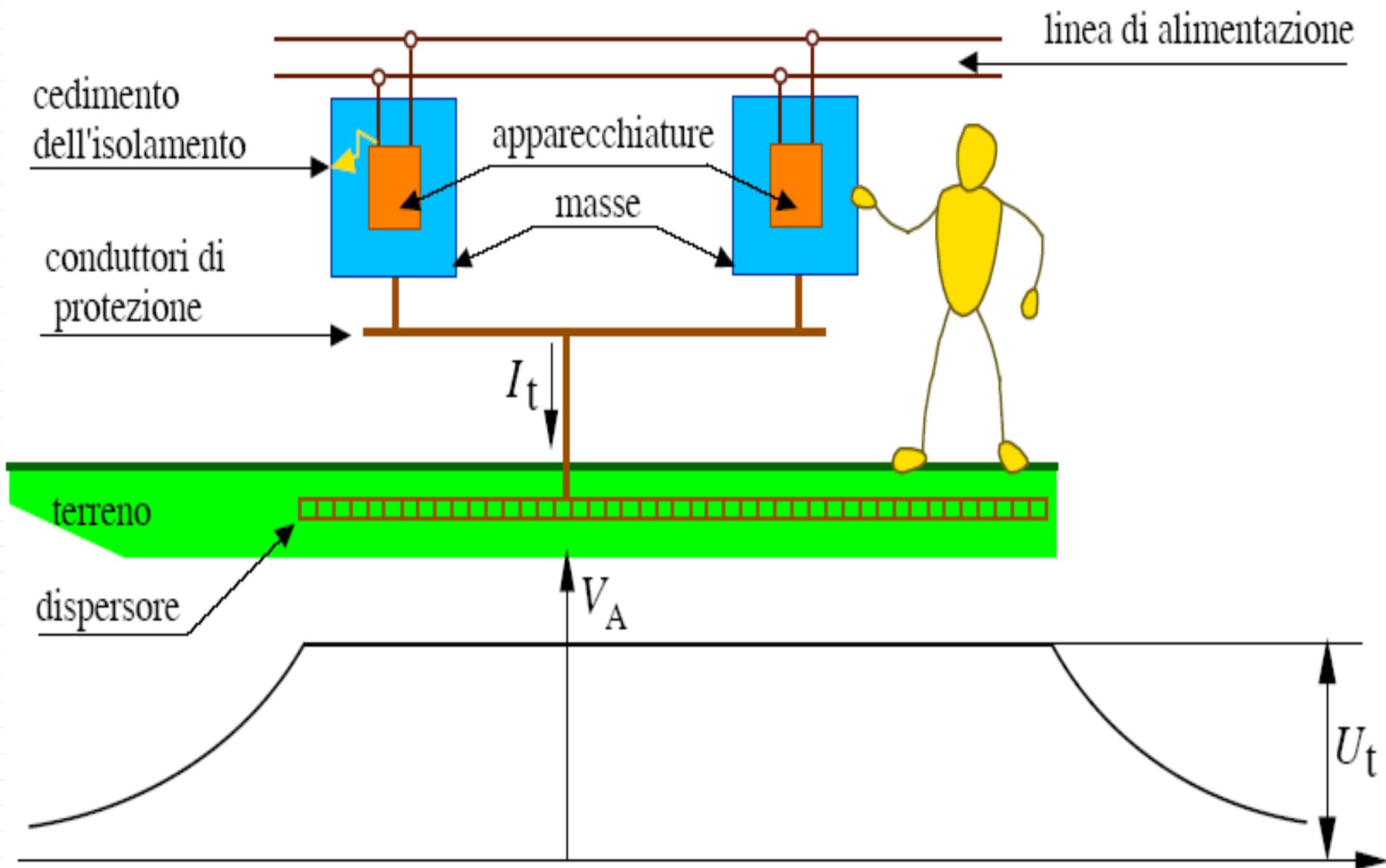
$h > 0,5 m$



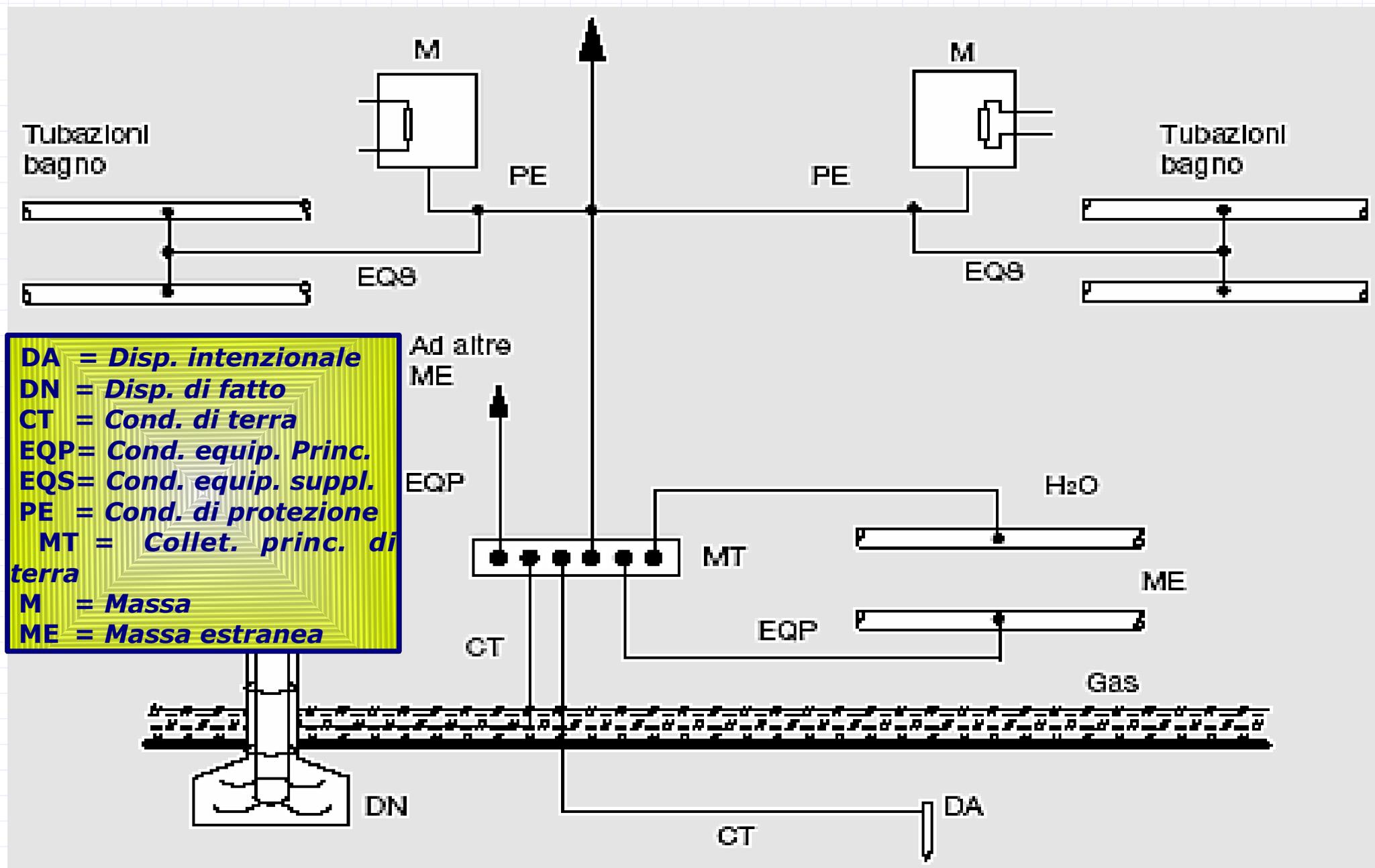
# L'impianto di terra: le tensioni $U_c$ e $U_p$



# L'impianto di terra: equipotenzializzazione



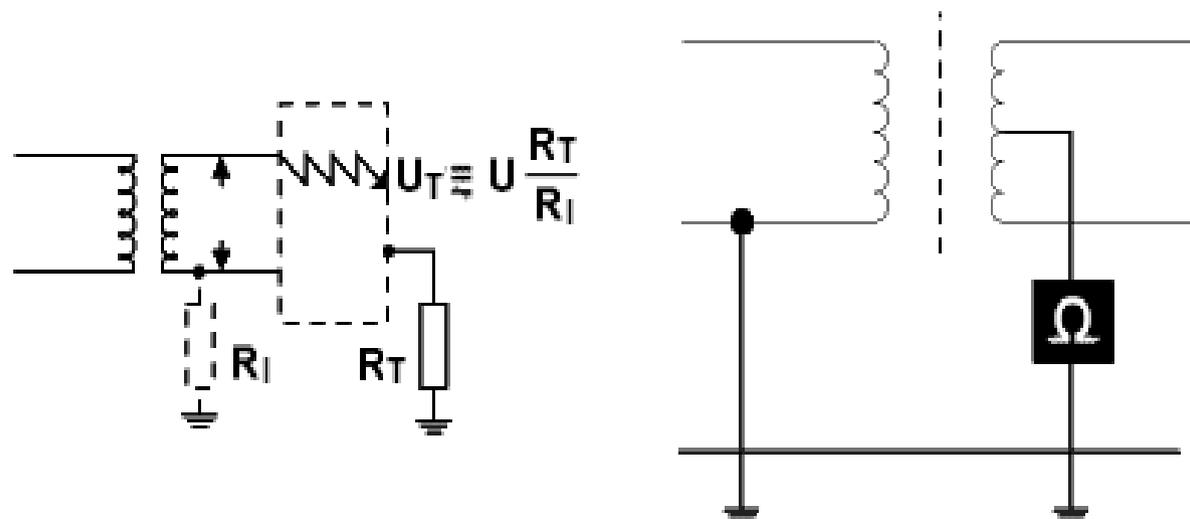
# L'impianto di terra: elementi costitutivi



**DA = Disp. intenzionale**  
**DN = Disp. di fatto**  
**CT = Cond. di terra**  
**EQP = Cond. equip. Princ.**  
**EQS = Cond. equip. suppl.**  
**PE = Cond. di protezione**  
**MT = Collet. princ. di terra**  
**M = Massa**  
**ME = Massa estranea**

# L'impianto di terra: unicità

Molte volte sarebbe comodo, nell'ambito di uno stesso edificio, realizzare, per i vari scopi, distinti impianti di terra. Ciò comporterebbe però il rischio, assai grave, di avere parti metalliche scoperte ed accessibili a potenziali diversi.



$R_I$  = resistenza di isolamento della rete

$R_T$  = resistenza di terra locale

Per questa ragione ...

**la Norma CEI 64-8/4 prescrive che l'impianto di terra deve essere unico per masse simultaneamente accessibili** (Art. 413.1.1.2).

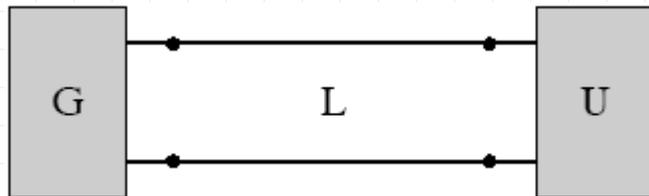
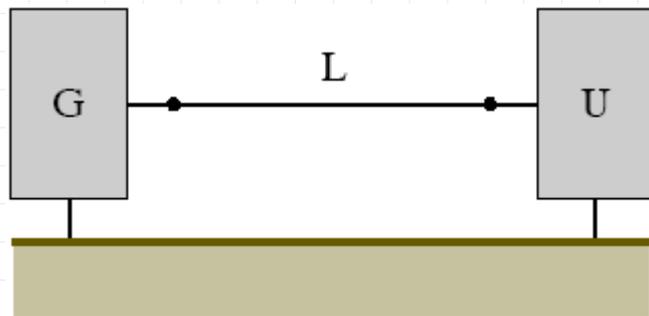
Solo in situazioni particolari, quando esista una incompatibilità fra due diverse funzioni, si possono avere, nello stesso ambiente, due impianti di terra distinti; in tali casi si devono però prendere provvedimenti affinché le parti metalliche collegate ai due diversi dispersori non possano essere toccate simultaneamente (allontanamento oltre 2,5 m, interposizione di ripari, ecc.).

# Classificazione dei sistemi elettrici in BT

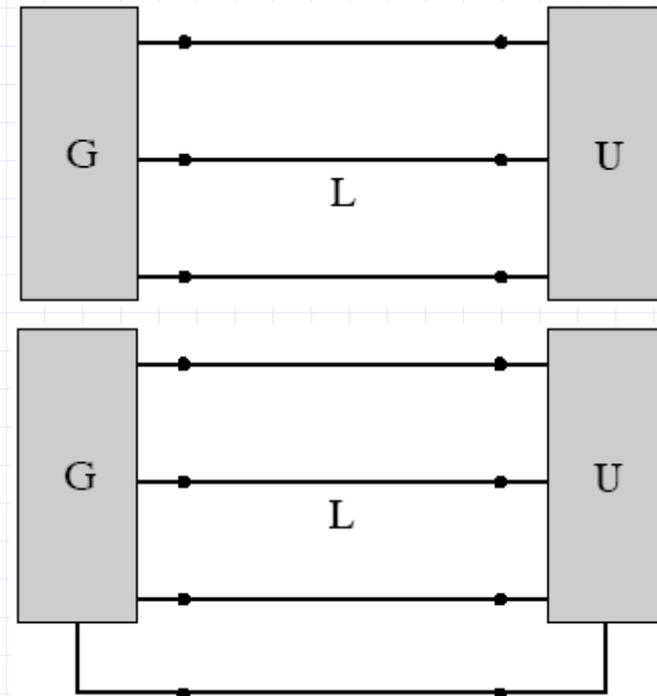
La distribuzione dell'energia elettrica alle utenze alimentate in bassa tensione, avviene invece secondo tipologie di sistemi che sono definiti in funzione (**Art. 312-Norma CEI 64-8**):

- del loro sistema di conduttori attivi;
- del loro modo di collegamento a terra.

In relazione al sistema di distribuzione in funzione del sistema di conduttori attivi sia:



Sistema monofase a 1 (F+T)  
o 2 (FN, FF) conduttori



Sistema trifase a 3 (3F) e a 4 (3F+N)  
conduttori [5 (3F+N+PE)]

# Classificazione dei sistemi di distribuzione

In relazione al sistema di distribuzione in funzione del modo di collegamento a terra del neutro e delle masse (CEI -64-8/312.2) vengono impiegate 2 lettere che rappresentano:

**1° lettera** *situazione del neutro rispetto a terra*

**T** *collegamento del conduttore di neutro direttamente a terra*

**I** *isolamento del conduttore di neutro da terra, oppure collegamento a terra tramite un impedenza*

**2° lettera** *situazione delle masse rispetto a terra*

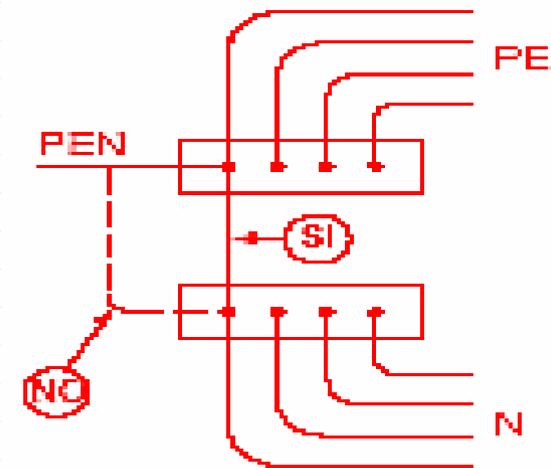
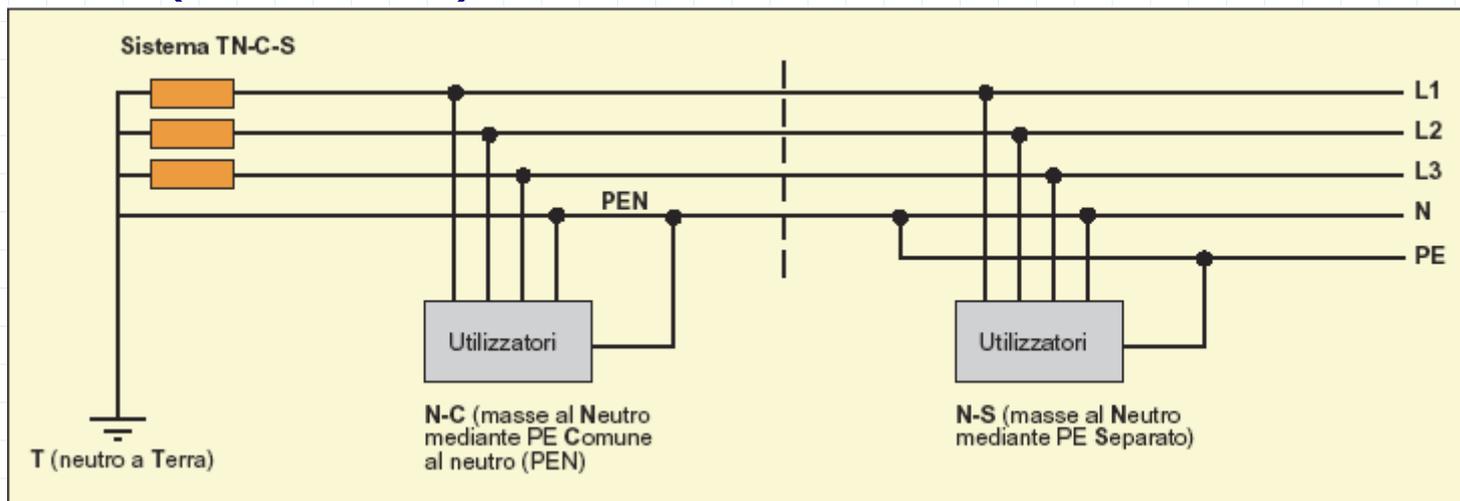
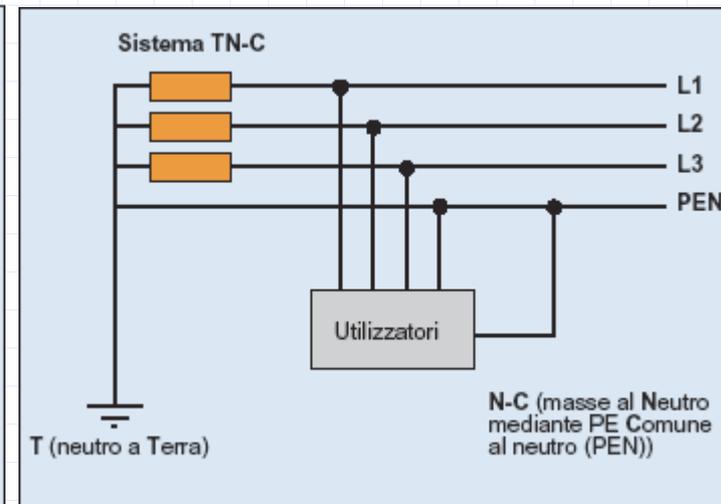
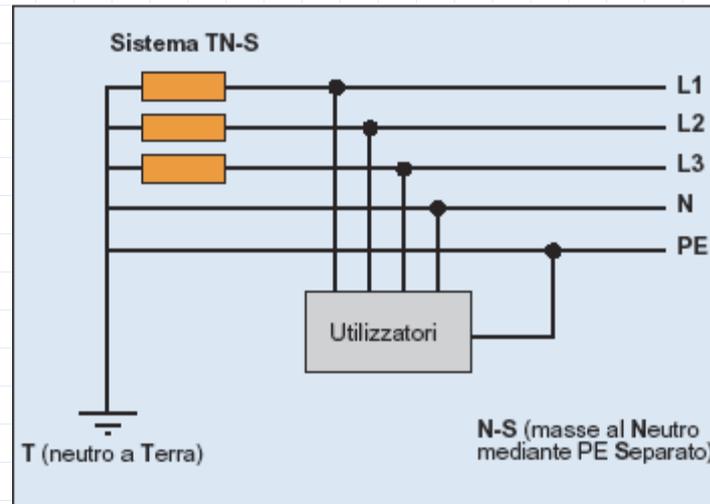
**T** *collegamento delle masse direttamente a terra*

**N** *collegamento delle masse al conduttore di neutro*

NOTA Nei sistemi di distribuzione monofase si distinguono quelli fase/neutro derivati da un sistema trifase a stella da quelli fase/fase derivati da un sistema trifase a triangolo o da un doppio monofase. In entrambi i casi il punto intermedio, dal quale parte il neutro è messo a terra ed è separato dal conduttore di terra che funziona da protezione.

# Il sistema TN

Nel sistema **TN** un punto è collegato direttamente a terra e le masse dell'impianto sono collegate a quel punto per mezzo del conduttore di protezione (**PE** o **PEN**).



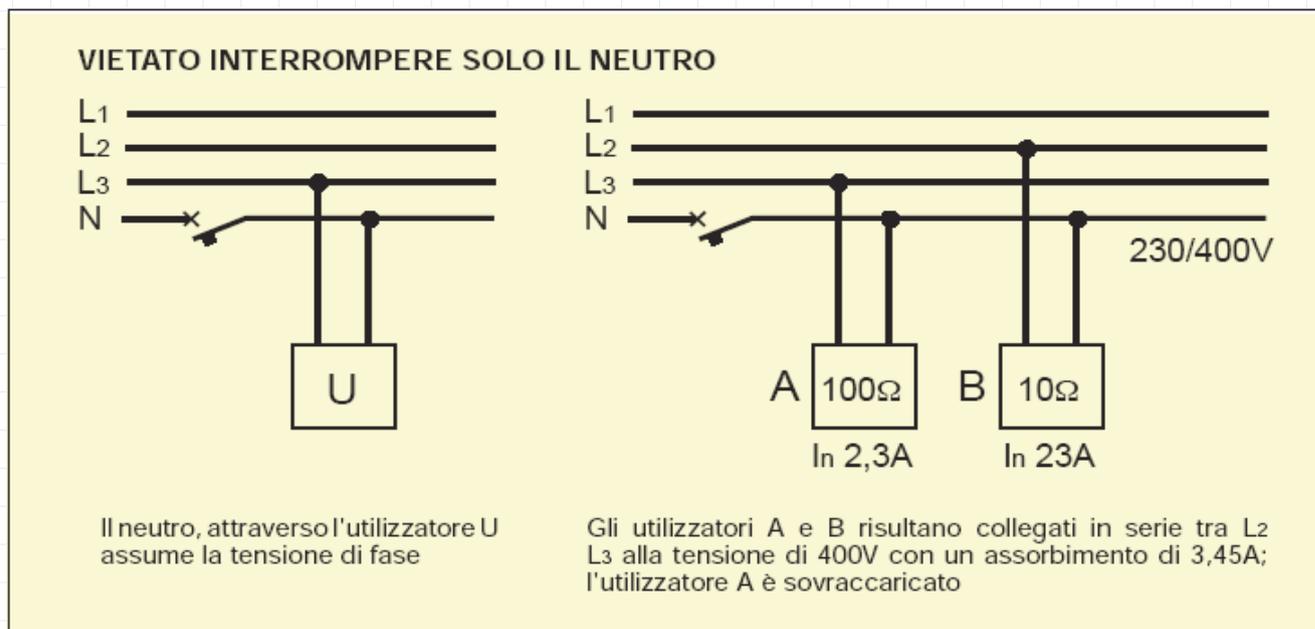
**TN-S** dove il conduttore di neutro **N** e di protezione **PE** sono separati.

**TN-C** dove la funzione di neutro e di protezione sono combinate in un unico conduttore **PEN**.

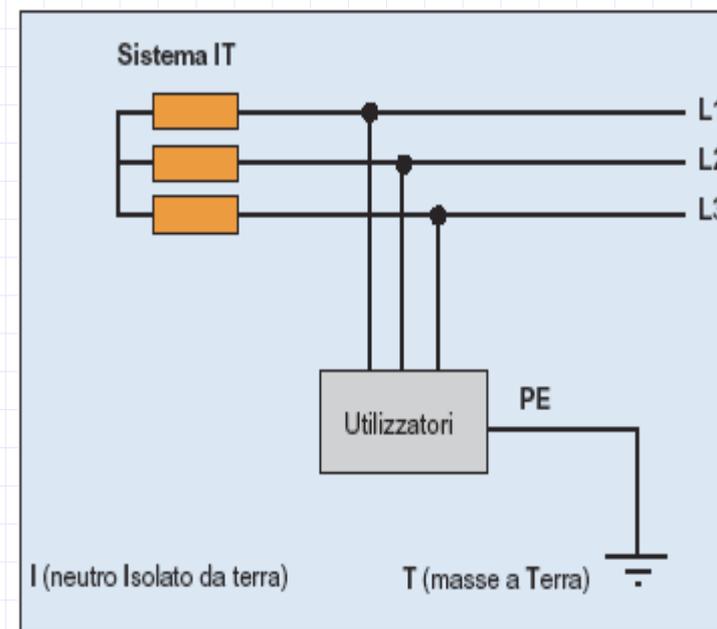
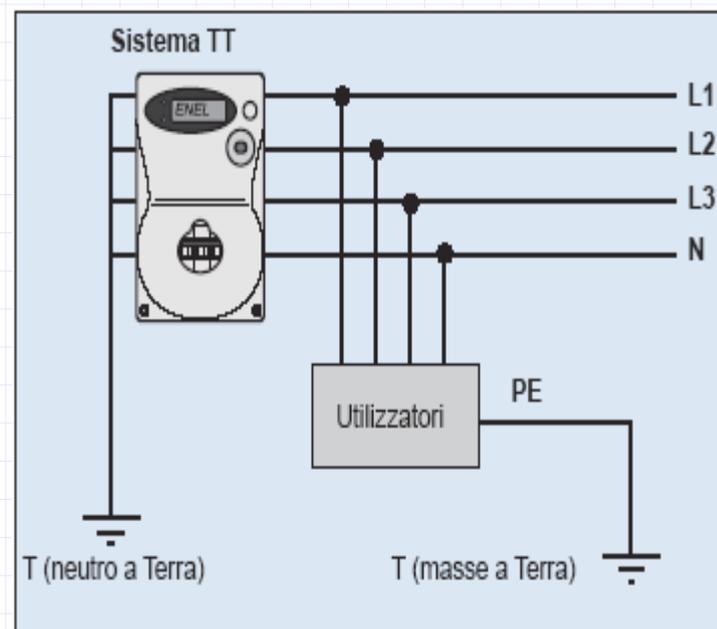
**TN-C-S** dove le funzioni di neutro e di protezione sono combinate in un unico conduttore **PEN** solo in una parte del sistema.

# Il sistema TT ed il sistema IT

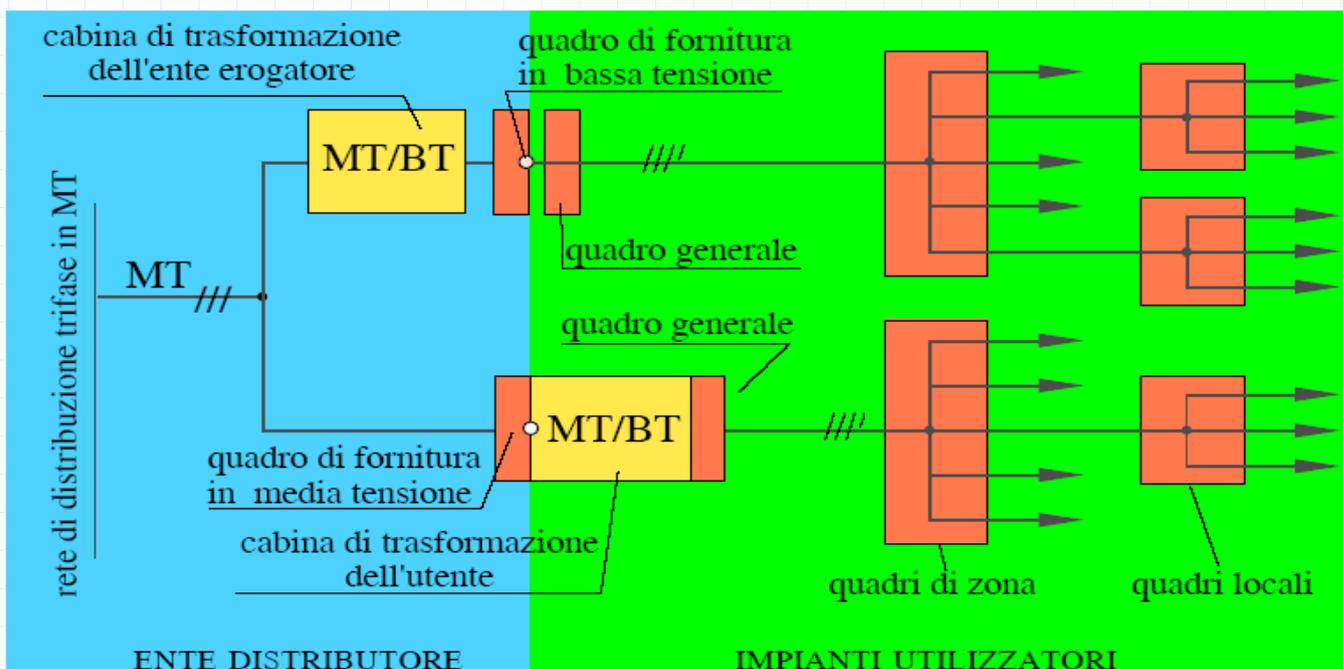
Nel sistema **TT** il neutro è collegato direttamente a terra, le masse dell'impianto sono collegate ad un impianto locale di terra elettricamente indipendente da quello del sistema.



Nel sistema **IT** nessuna parte attiva è collegata a terra (se non tramite un'impedenza Z), mentre le masse sono collegate a terra.



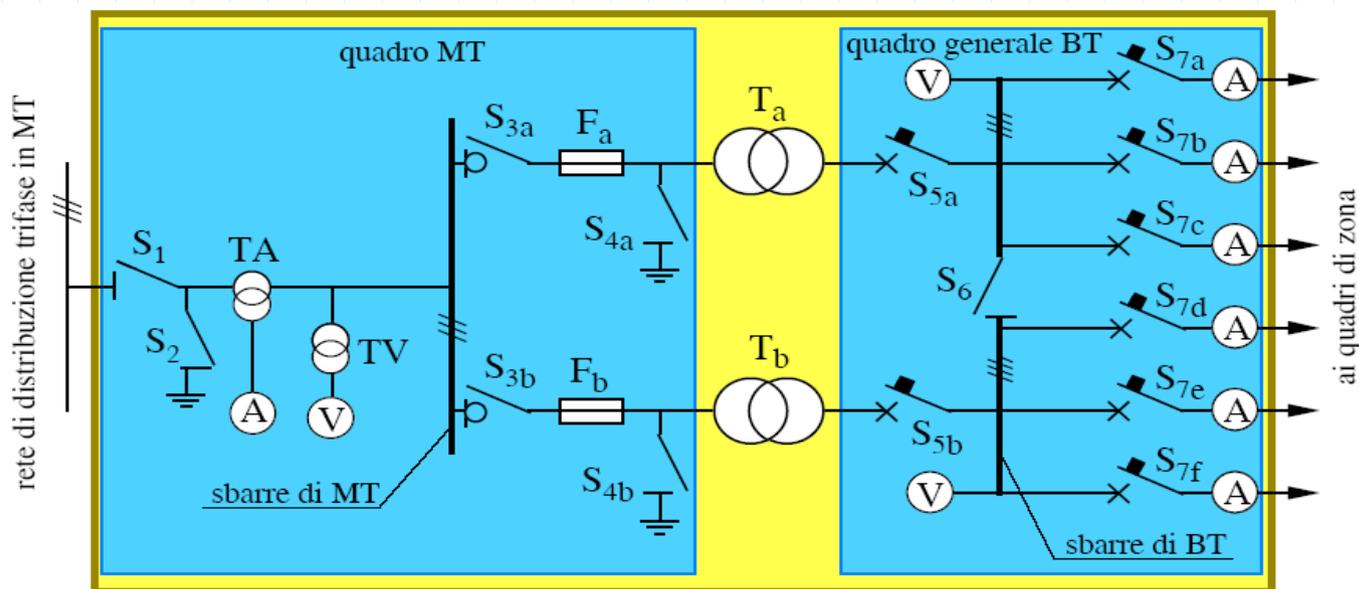
# Struttura dei sistemi di distribuzione



Tipiche strutture gerarchica ad albero con punto di consegna dell'energia in BT e con cabina propria (punto di consegna in MT).

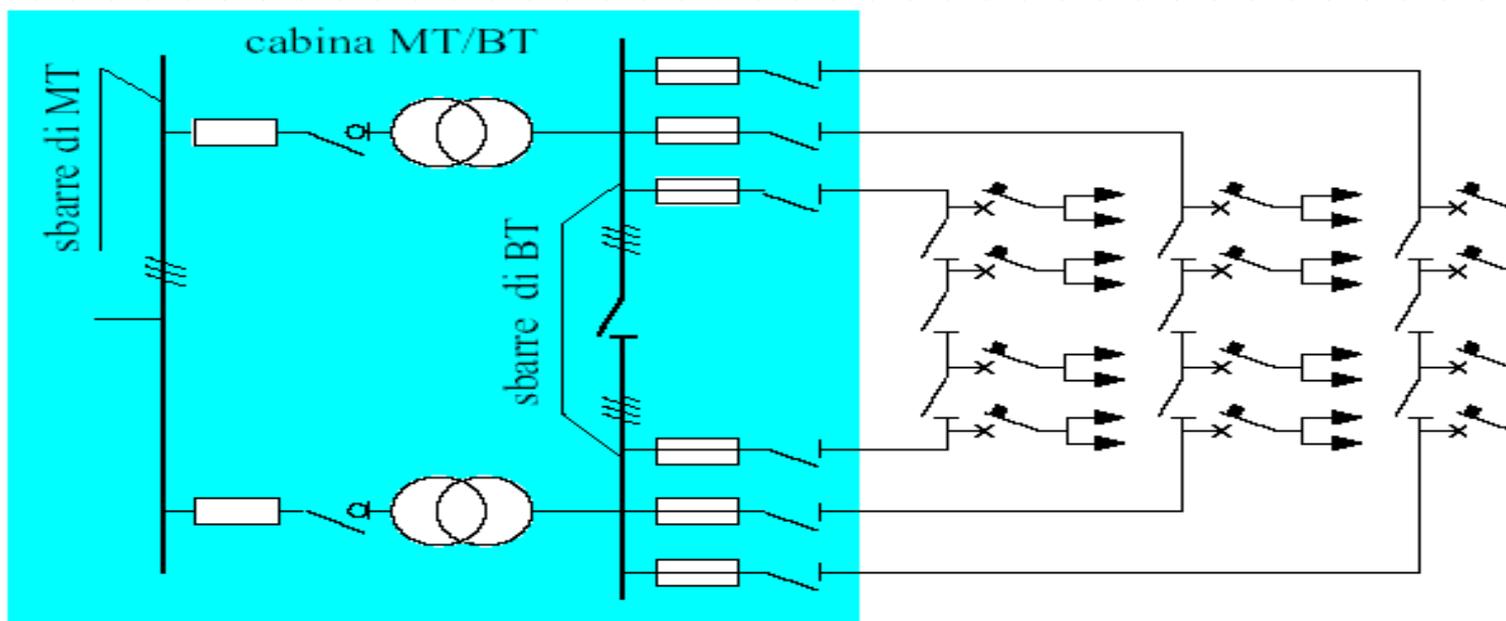
/// = linea trifase senza neutro

/// = linea trifase con neutro

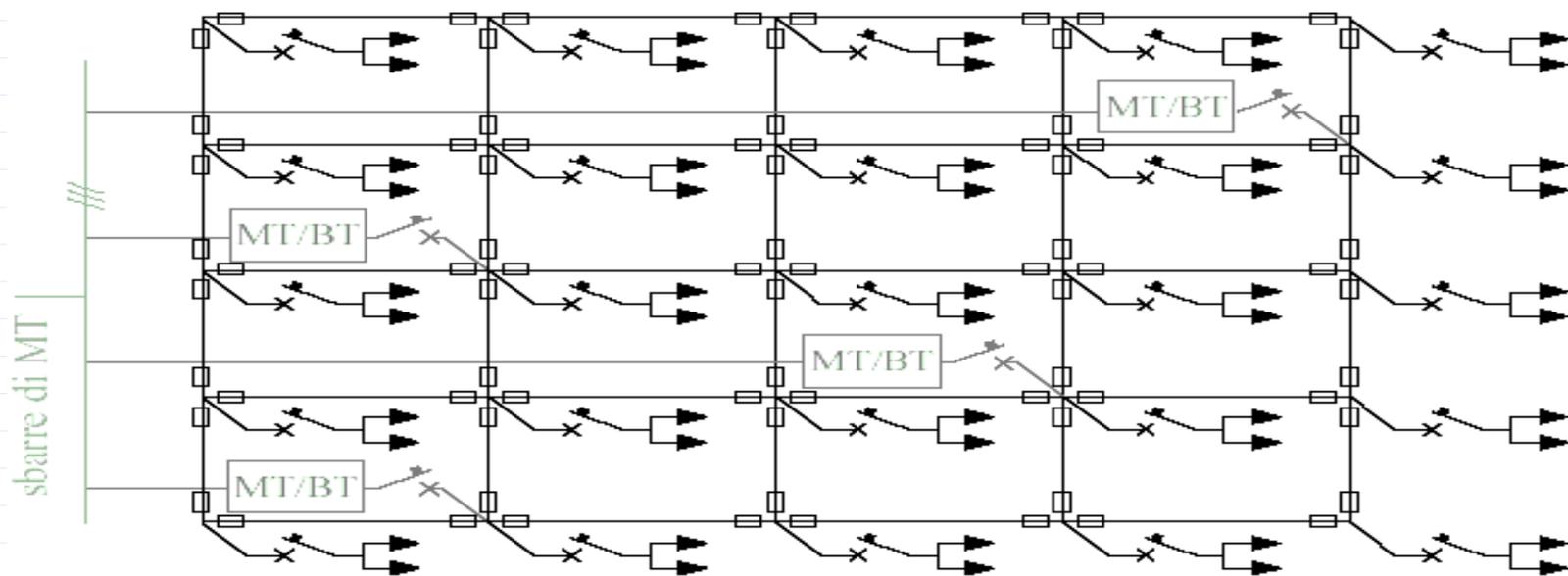


Struttura della tipica cabina di trasformazione MT/BT

# Struttura dei sistemi di distribuzione

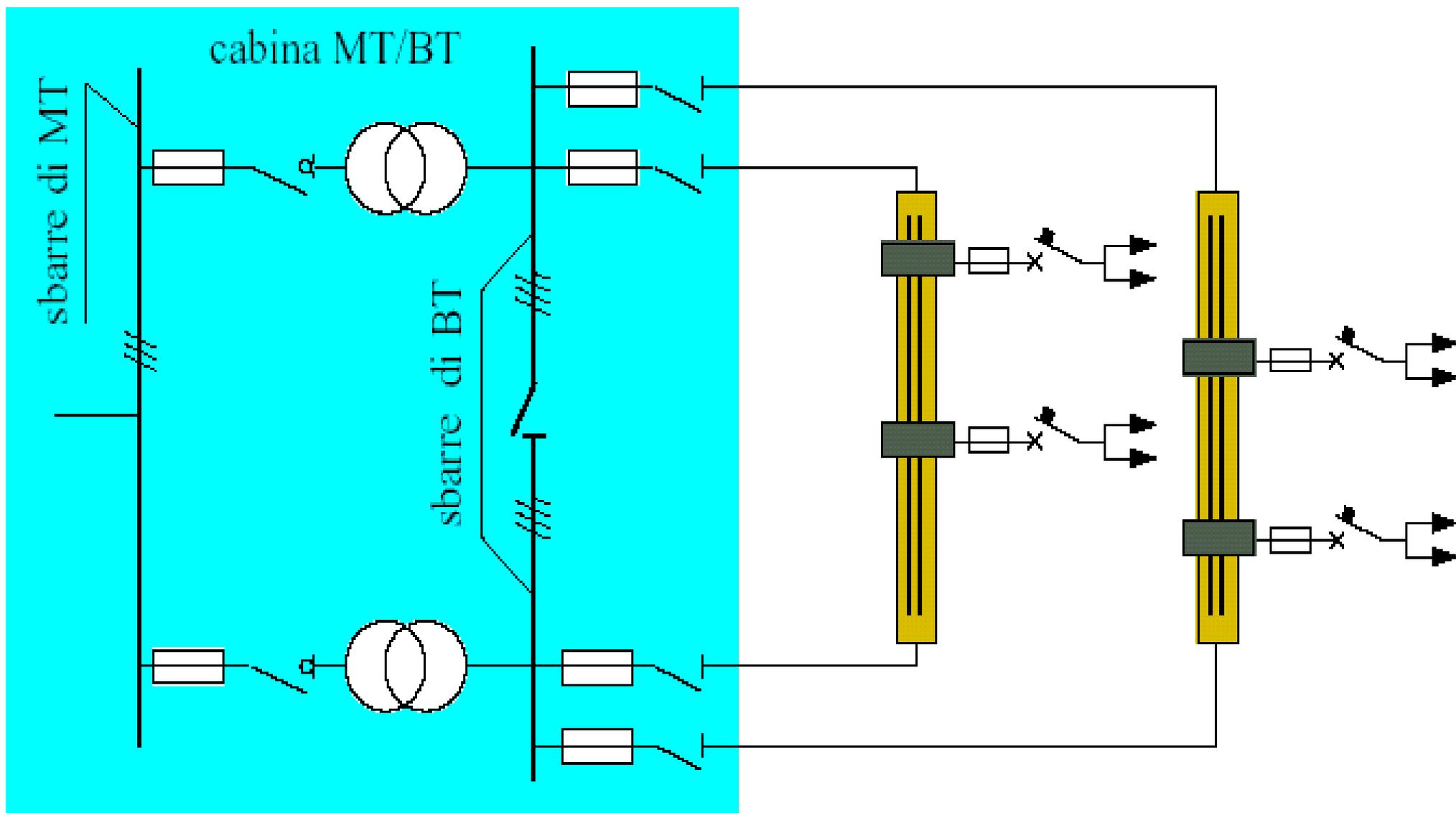


Grandi utenze industriali: distribuzione lato BT ad anello



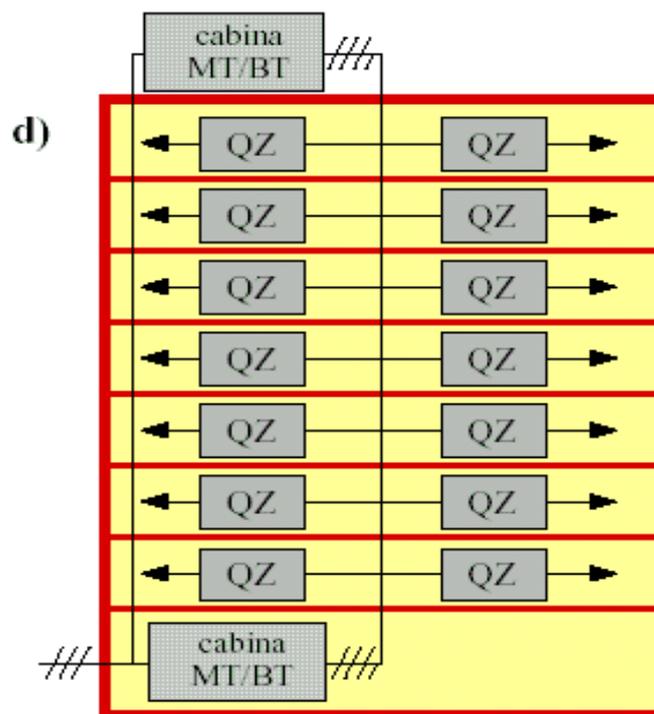
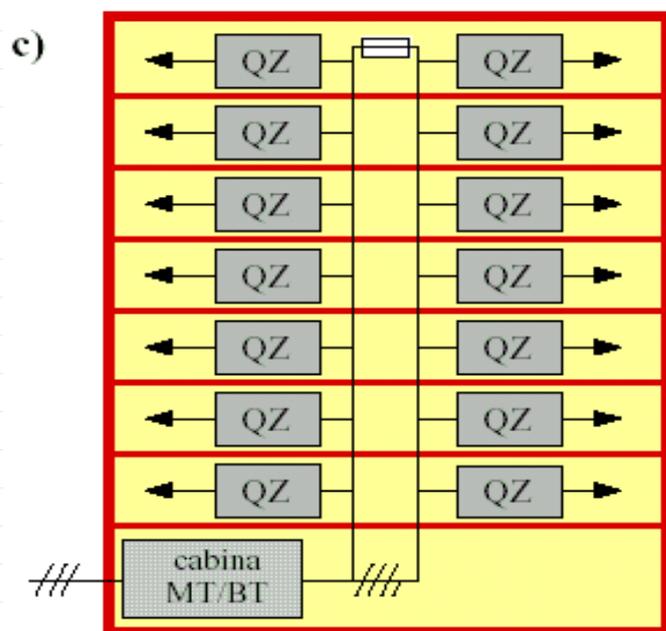
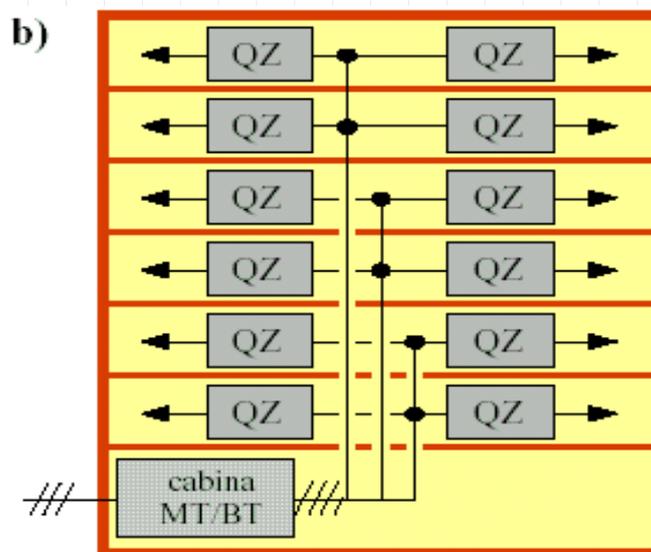
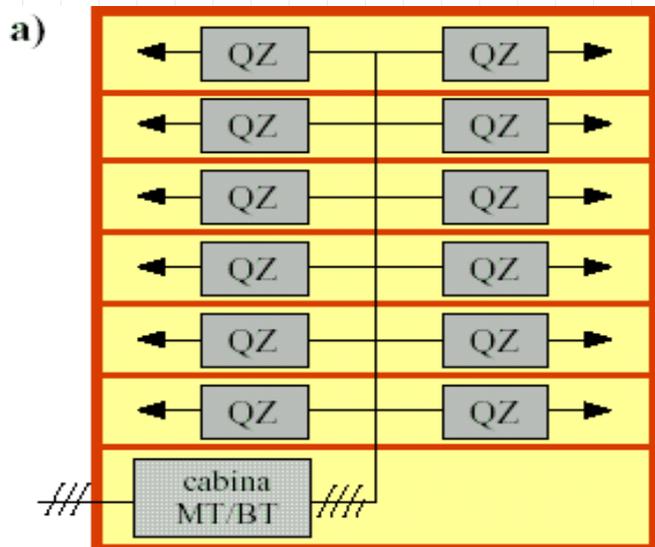
Grandi utenze industriali: distribuzione lato BT magliata

# Struttura dei sistemi di distribuzione



Grandi utenze industriali: distribuzione lato BT ad anello con un sistema a blindosbarre

# Struttura dei sistemi di distribuzione



Grandi utenze civili:

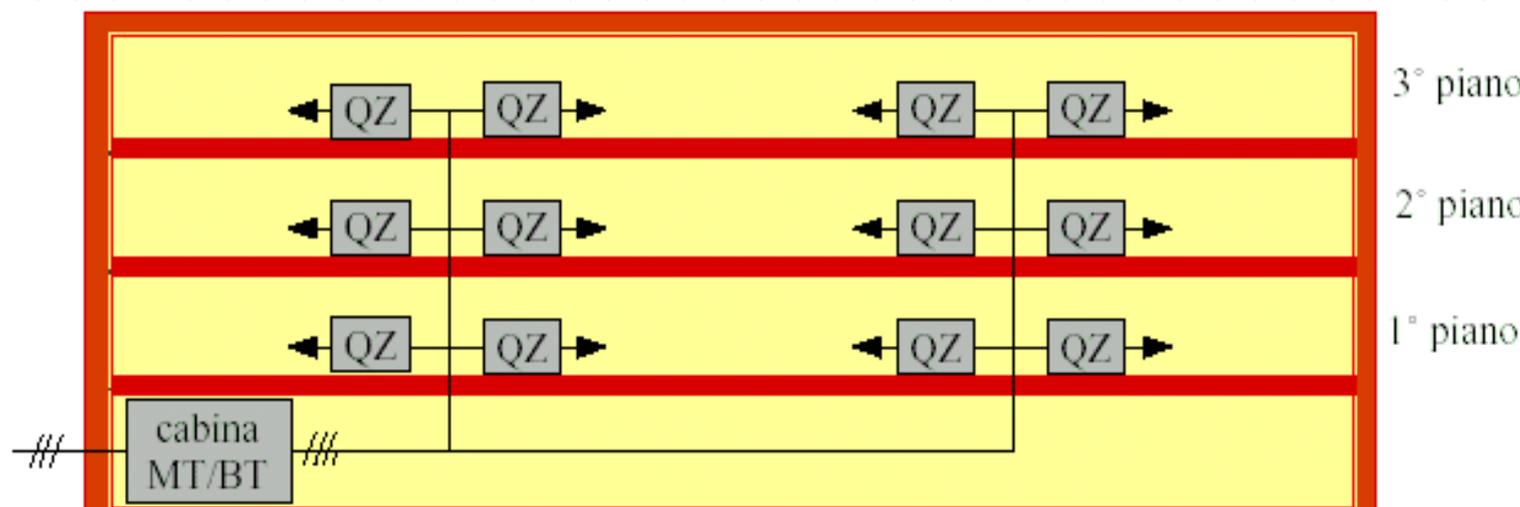
a) con una linea montante (*distribuzione dorsale*)

b) con più linee montanti (*distribuzione radiale*)

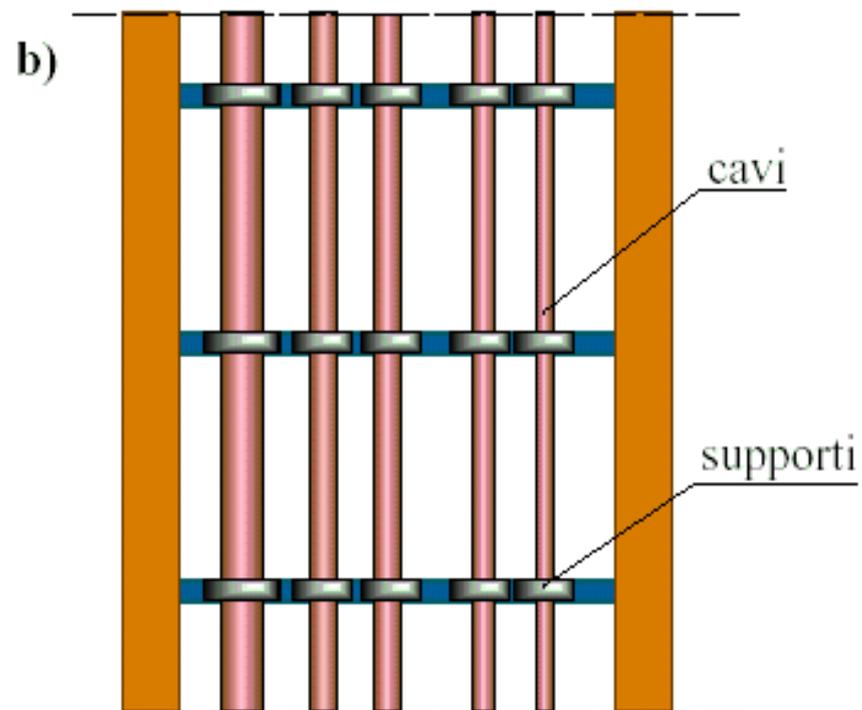
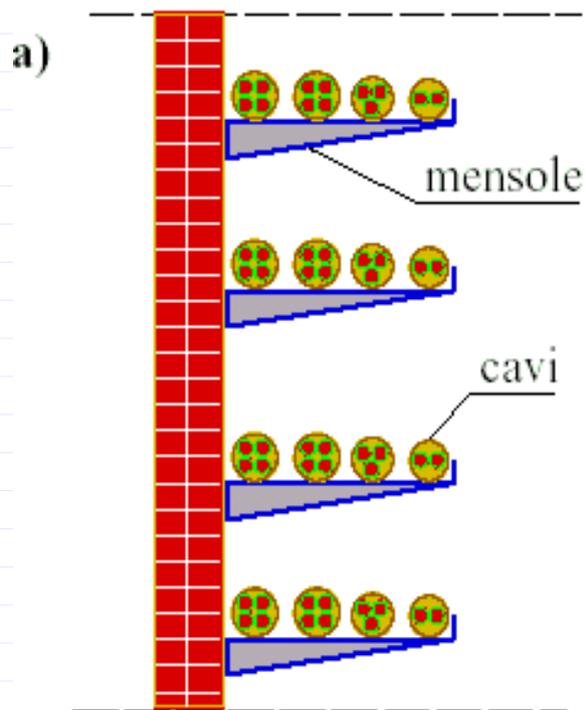
c) ad anello sezionabile

d) con doppia cabina di alimentazione alle estremità

# Struttura dei sistemi di distribuzione



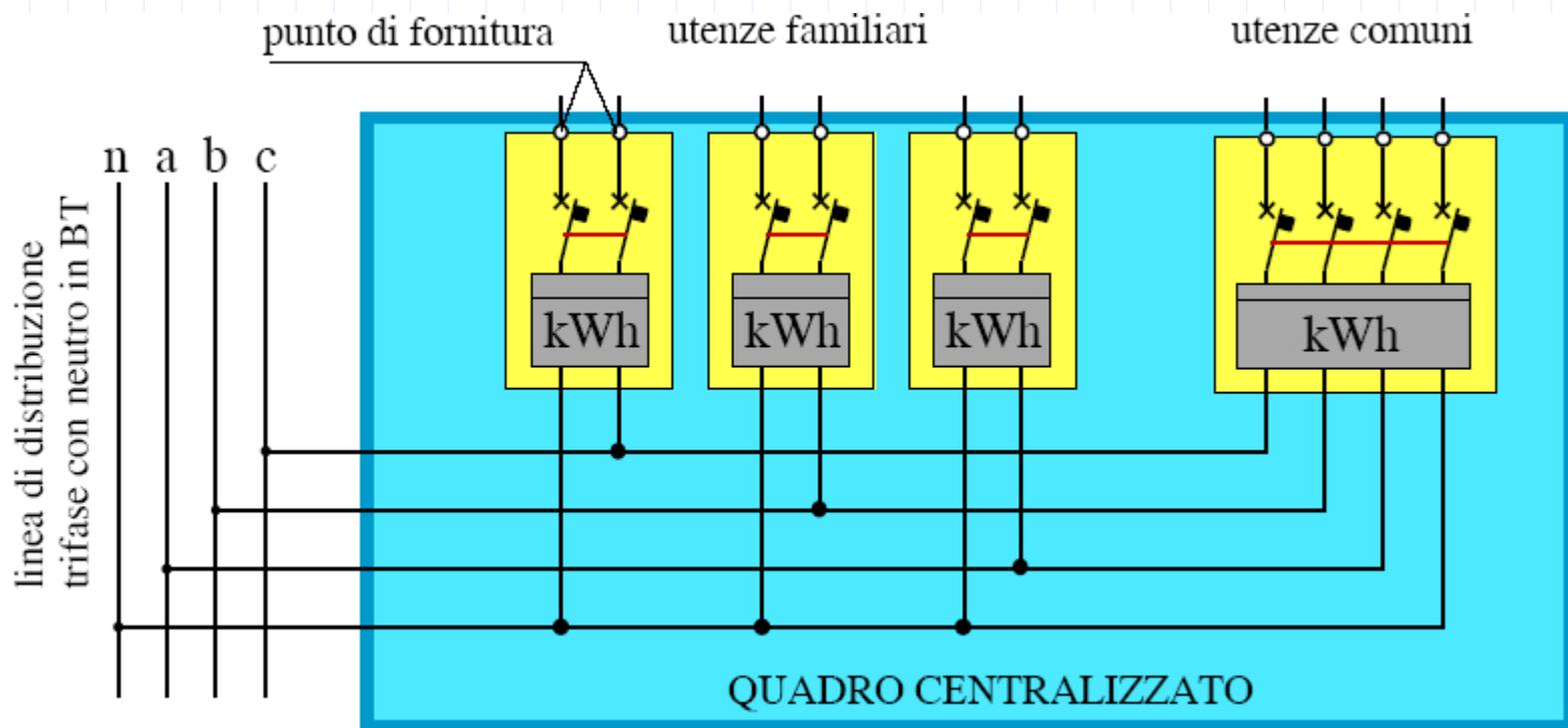
Grandi utenze civili con struttura a sviluppo orizzontale



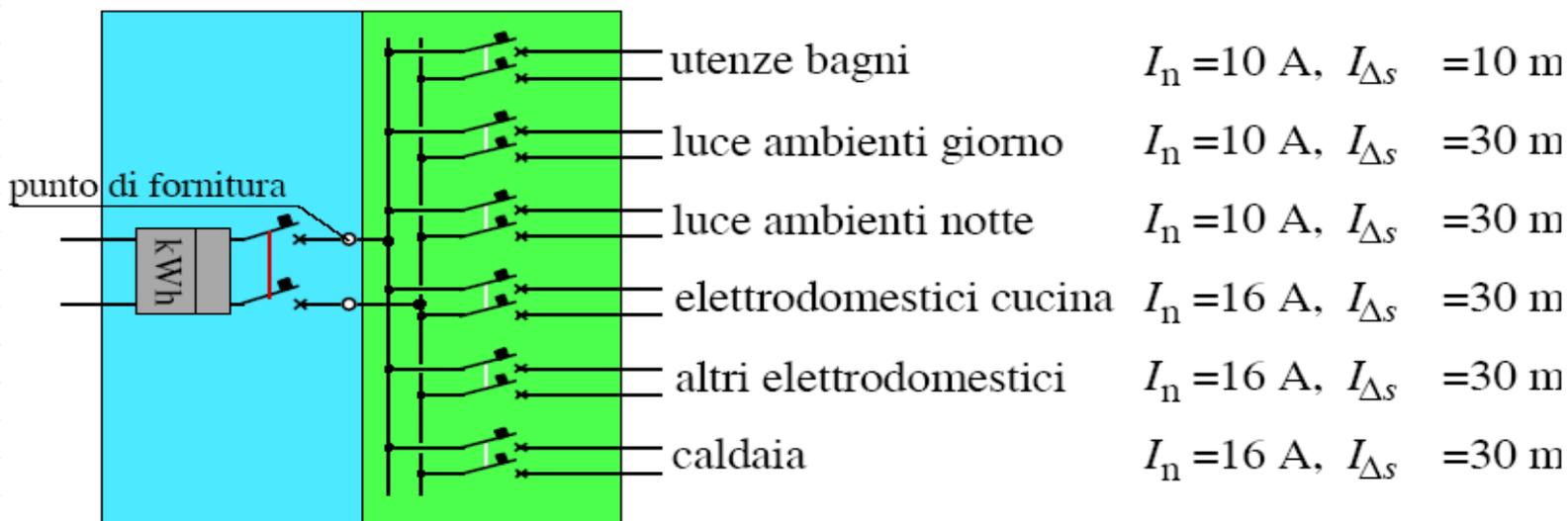
a) cunicoli (preferibilmente praticabili) dotati di mensole o canaline in cui sono posate le linee in cavo

b) montanti installati in cavedi

# Struttura dei sistemi di distribuzione



Tipica struttura di un quadro generale centralizzato di un complesso di piccole utenze

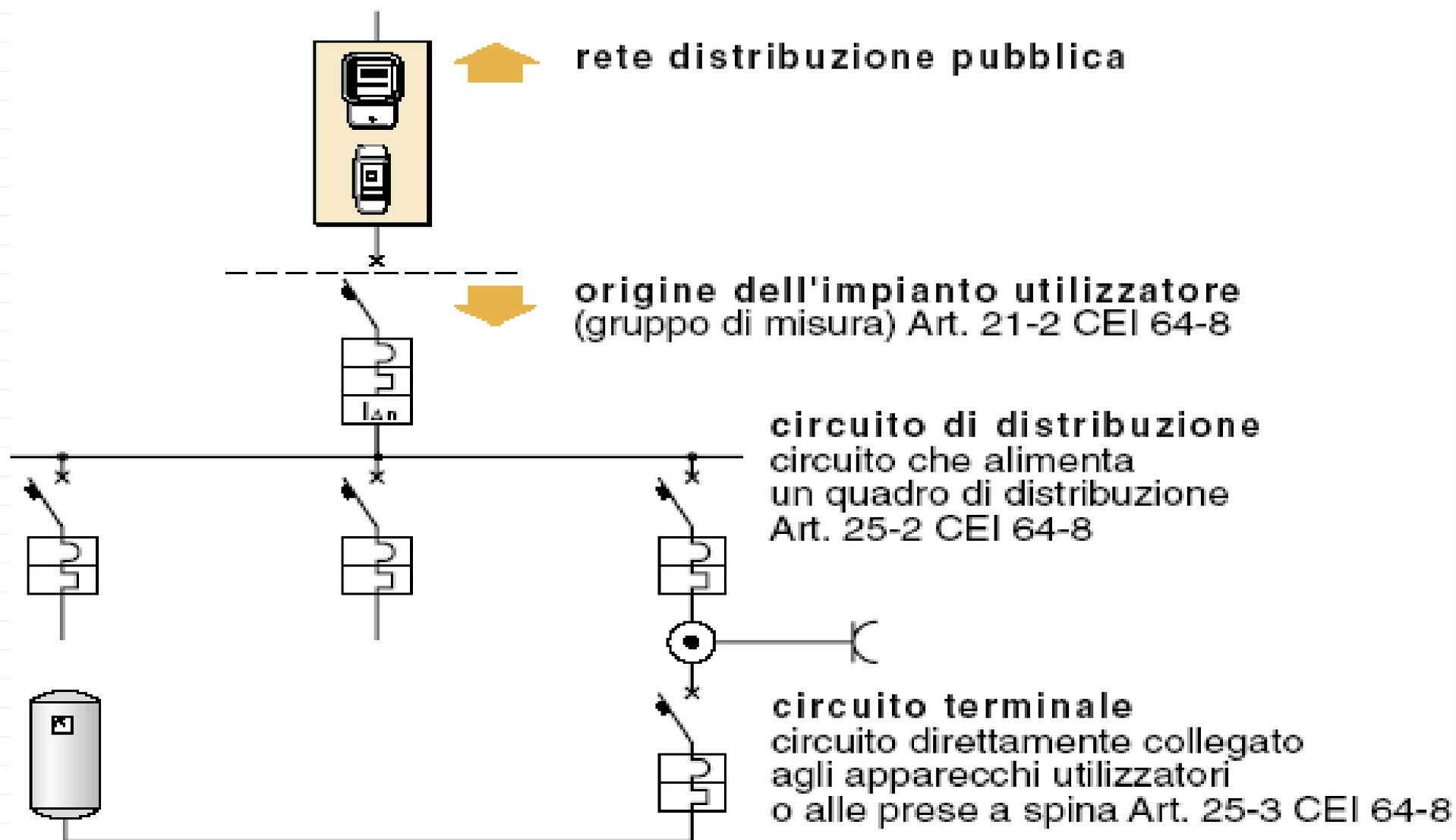


Tipica struttura di un quadretto locale di una unità abitativa

# Struttura dei sistemi di distribuzione

## Impianto utilizzatore

complesso di tutti i componenti a valle del gruppo di misura fino alle prese a spina Art. 21-1 CEI 64-8



# Classificazione dei componenti elettrici

## Classificazione dei componenti elettrici

classe 0		componente dotato di isolamento principale e non provvisto di alcun dispositivo per il collegamento delle masse a un PE	c masse isolate da terra c protezione contro i guasti di isolamento affidate alle caratteristiche dell'ambiente circostante (es: pedana isolante)
classe I		componente dotato di isolamento principale e provvisto di un dispositivo di collegamento delle masse a un PE	c masse collegate a terra c protezione contro i guasti di isolamento affidata ai dispositivi di protezione dei circuiti
classe II		componente dotato di doppio isolamento o di isolamento rinforzato e non provvisto di alcun dispositivo per il collegamento delle masse ad un PE	l'isolamento supplementare può essere un involucro isolante con grado di protezione almeno IPXXB c masse isolate da terra c possibilità di realizzare un isolamento equivalente durante l'installazione mediante isolamento supplementare
classe III		componente ad isolamento ridotto perché destinato ad essere alimentato esclusivamente da un sistema a bassissima tensione di sicurezza	esempio: circuito SELV (V - 50 V CA)

Nota: Le condutture elettriche realizzate con i seguenti componenti hanno isolamento di classe II:

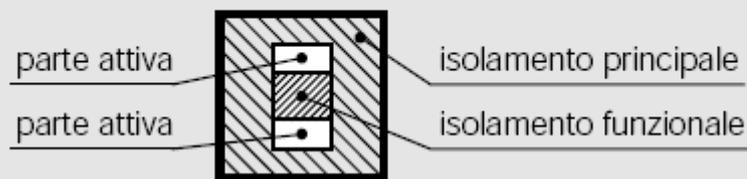
c cavi con guaina non metallica con tensione nominale maggiore di un gradino rispetto a quella necessaria per il sistema elettrico;

c cavi unipolari senza guaina installati in tubo o canale isolante conformi alle rispettive norme;

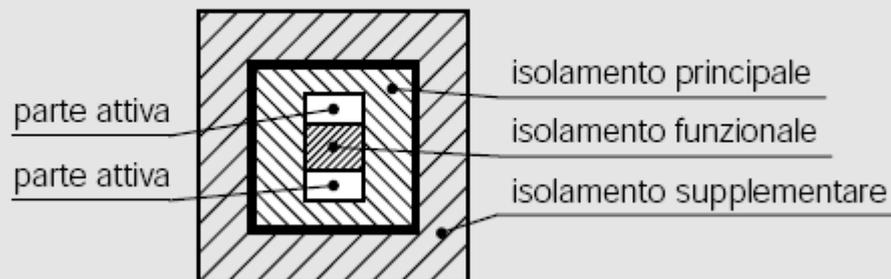
c cavi con guaina metallica aventi isolamento idoneo.

# Classificazione dei componenti elettrici

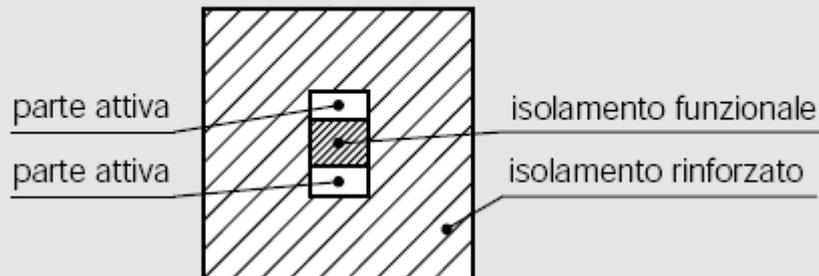
## Isolamento principale



## Doppio isolamento



## Isolamento rinforzato



# **La pericolosità della corrente elettrica**

**Effetti della corrente sul corpo umano**

**Soglie di pericolosità della corrente**

**Zone di pericolosità della corrente**

**Impedenza del corpo umano**

**Curve di sicurezza tensione-tempo**

**Effetti al variare della frequenza**

**Effetti al variare della forma d'onda**

**Primi soccorsi**

# Effetti della corrente sul corpo umano

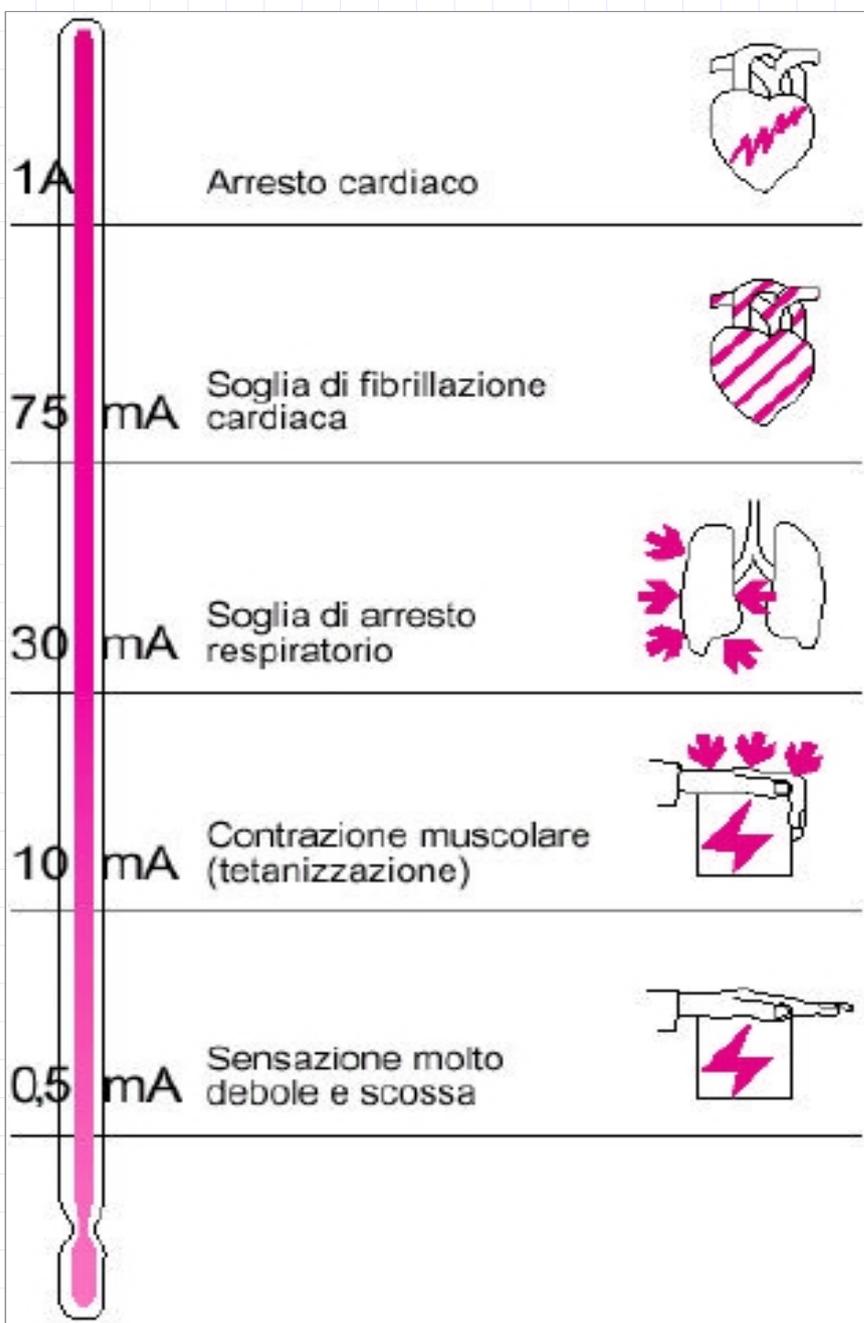
Una corrente elettrica, anche di piccolissima intensità, che attraversa il corpo **interferisce** inevitabilmente con i potenziali e con i segnali elettrici caratteristici della fisiologia umana.

Il rischio maggiore derivante dall'elettrocuzione risiede nell'azione delle correnti elettriche sulle due più importanti funzioni dell'organismo: la **respirazione** e la **circolazione**. Non sono comunque da sottovalutare i rischi derivanti dalle ustioni dovute al passaggio della corrente elettrica attraverso l'organismo.

Gli effetti dannosi della corrente elettrica e la loro entità dipendono da molteplici fattori, tra i quali rivestono particolare importanza:

- ▶ l'intensità della corrente
- ▶ le condizioni fisiche del soggetto
- ▶ la durata del contatto
- ▶ il percorso della corrente attraverso il corpo
- ▶ la frequenza della corrente

# Soglie di pericolosità della corrente

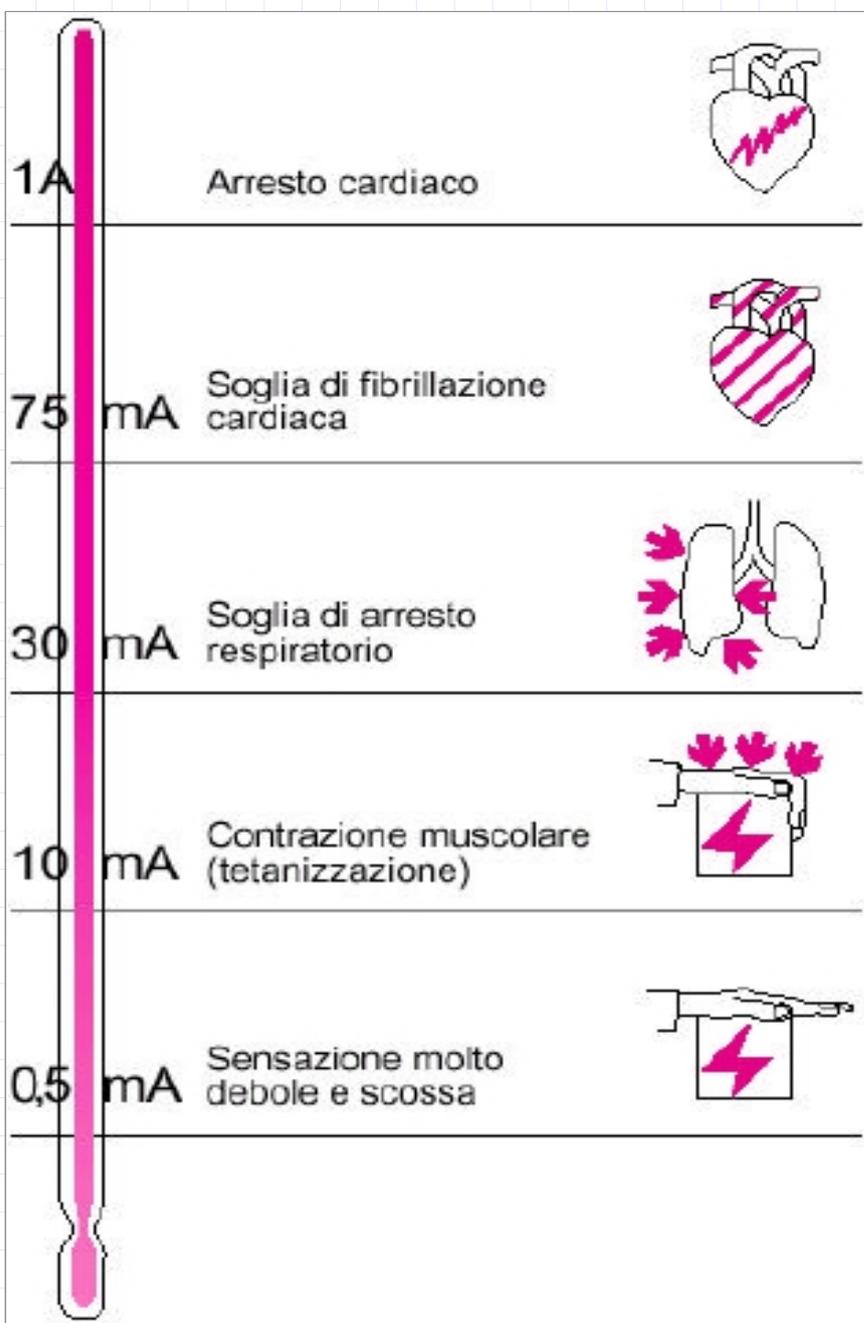


**Soglia di percezione:** è il valore minimo che causa una sensazione alla persona attraverso cui fluisce la corrente; dipende da più parametri, come già premesso, in genere si assume un valore di massima di **0,5 mA** indipendentemente dal tempo. Tale limite è molto variabile da un soggetto all'altro. Alcune persone percepiscono la corrente di intensità nettamente inferiori a 1 mA, mentre altre cominciano a percepire il passaggio della corrente ad intensità più elevate, dell'ordine di 2 mA.

**Soglia di rilascio:** è il massimo valore di corrente per cui una persona può lasciare gli elettrodi con i quali è in contatto; si assume un valore in ca a 50-100 Hz ha il valore di **10 mA** per le donne e di **15 mA** per gli uomini. Alcuni soggetti però sono in grado di liberarsi a correnti superiori (differenze sensibili secondo il sesso degli individui, l'età, le condizioni di salute, il livello di attenzione, ecc.).

**Arresto respiratorio:** per correnti di **20-30 mA** le contrazioni possono raggiungere l'apparato muscolare respiratorio fino a causare l'arresto respiratorio.

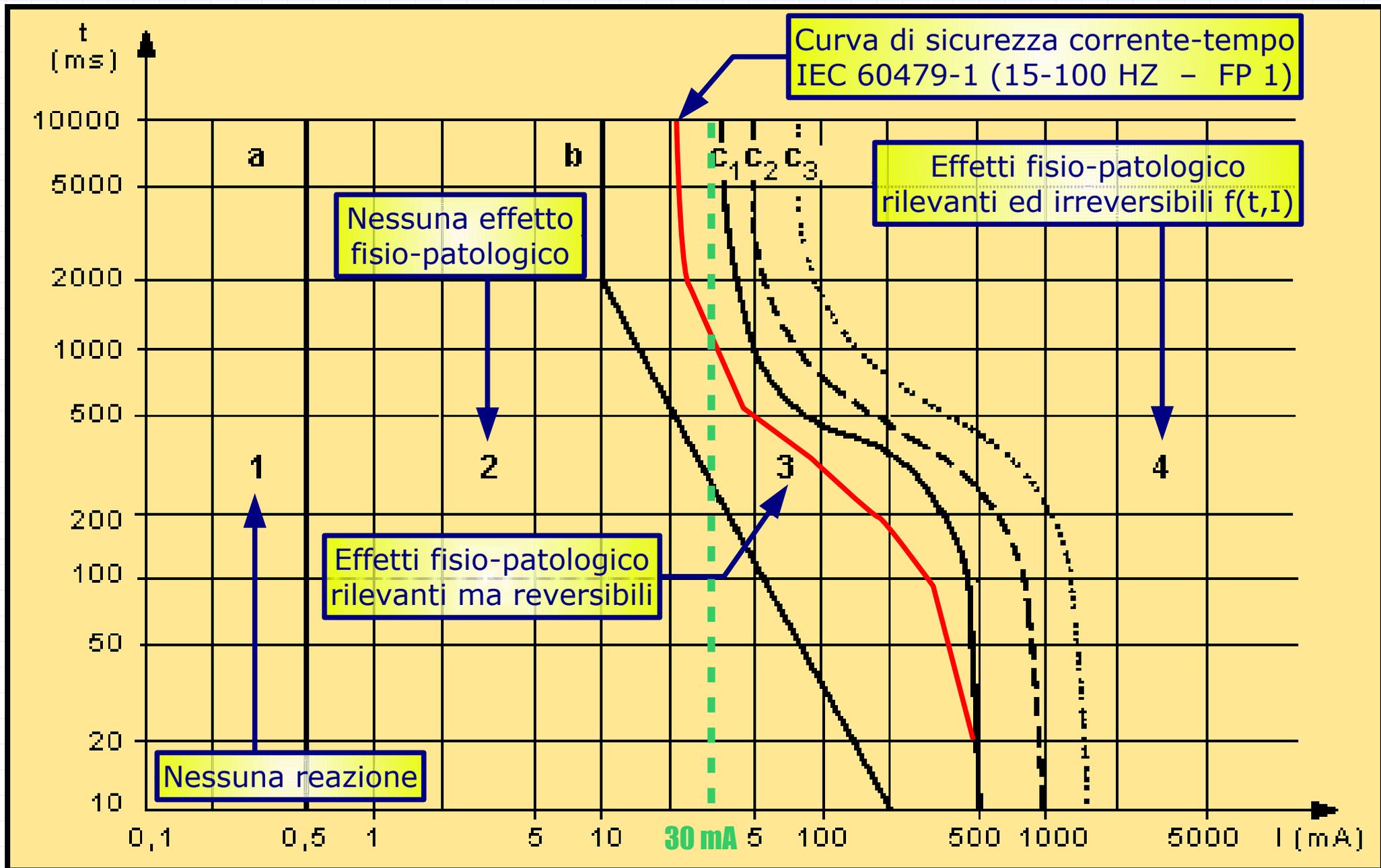
# Soglie di pericolosità della corrente



**Soglia di fibrillazione ventricolare:** è il valore minimo di corrente che provoca la fibrillazione ventricolare; viene considerata la causa principale di morte per contatto elettrico. Esiste una proporzionalità approssimativa tra il peso corporale e la corrente necessaria alla fibrillazione, che permette di identificare una soglia compresa tra **70 e 100 mA**. In realtà questa soglia non può essere definita in modo preciso poiché essa varia con le condizioni fisiologiche del soggetto, ma anche con i parametri ambientali e casuali dell'incidente: percorso della corrente all'interno del corpo, resistenza dell'organismo, tensione, tipo di contatto e tempo di passaggio della corrente nell'organismo.

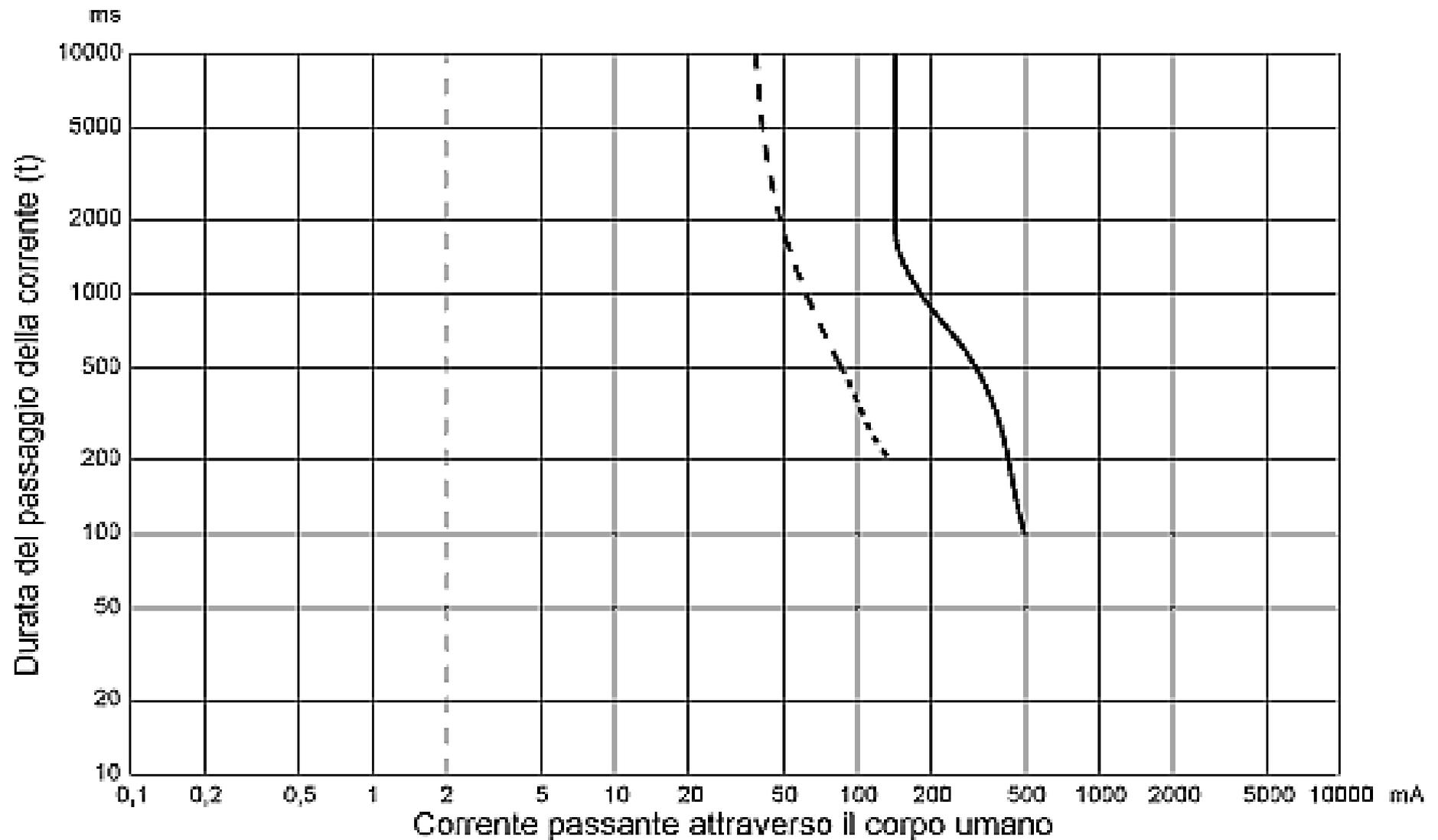
**Rischi di ustioni:** un altro rischio importante collegato all'impiego dell'elettricità è legato alle ustioni. Queste sono molto frequenti in caso di incidenti domestici e soprattutto industriali. Esistono due tipi di ustioni: dovuta all'arco: è causata dal calore irradiato dall'arco elettrico; elettrotermica: è un'ustione elettrica dovuta al passaggio della corrente elettrica attraverso l'organismo.

# Zone di pericolosità della corrente



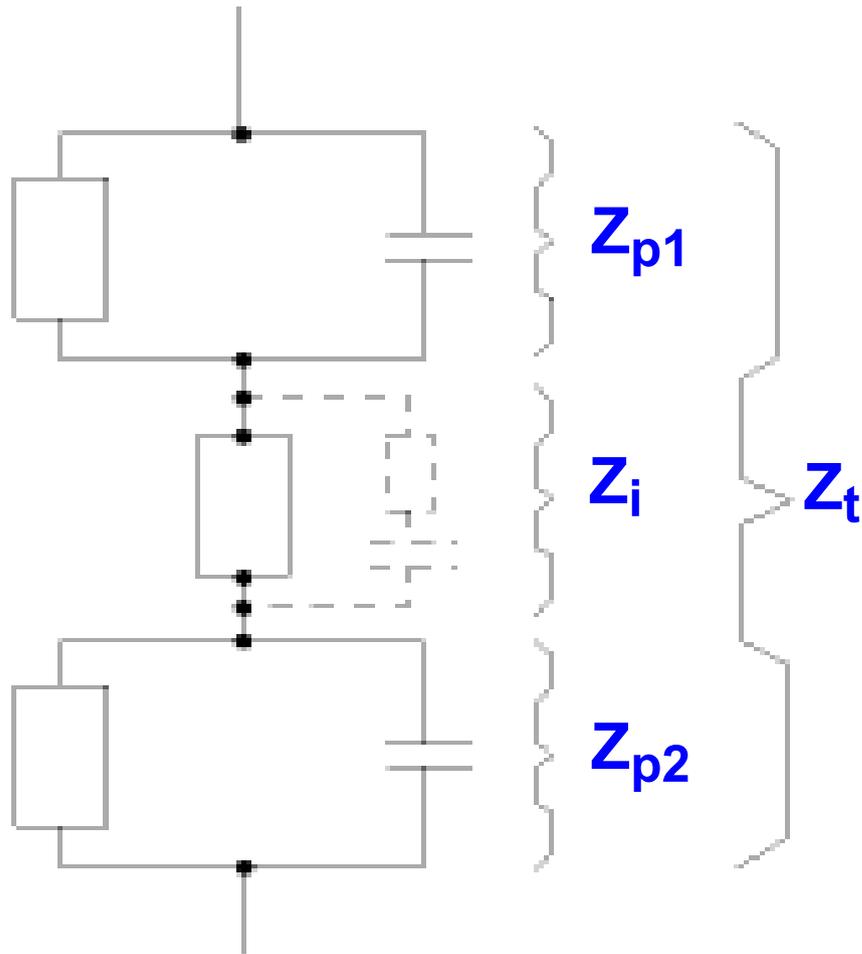
# Zone di pericolosità della corrente

Zone tempo/corrente degli effetti per la corrente continua

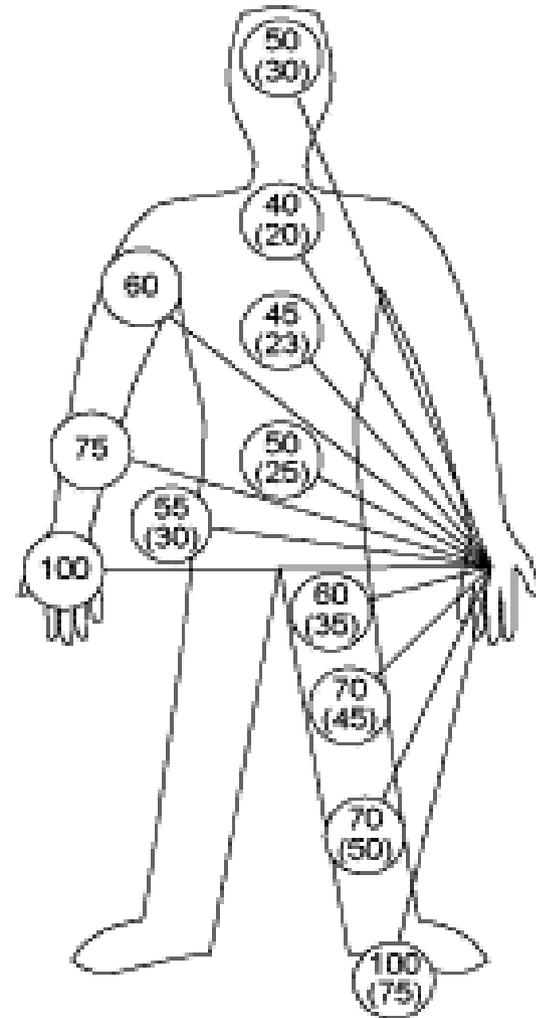


# Impedenza del corpo umano

Impedenza totale sul corpo umano



Impedenza interna del corpo umano in funzione del percorso della corrente



$Z_{p1}$  = impedenza della pella (ingresso)

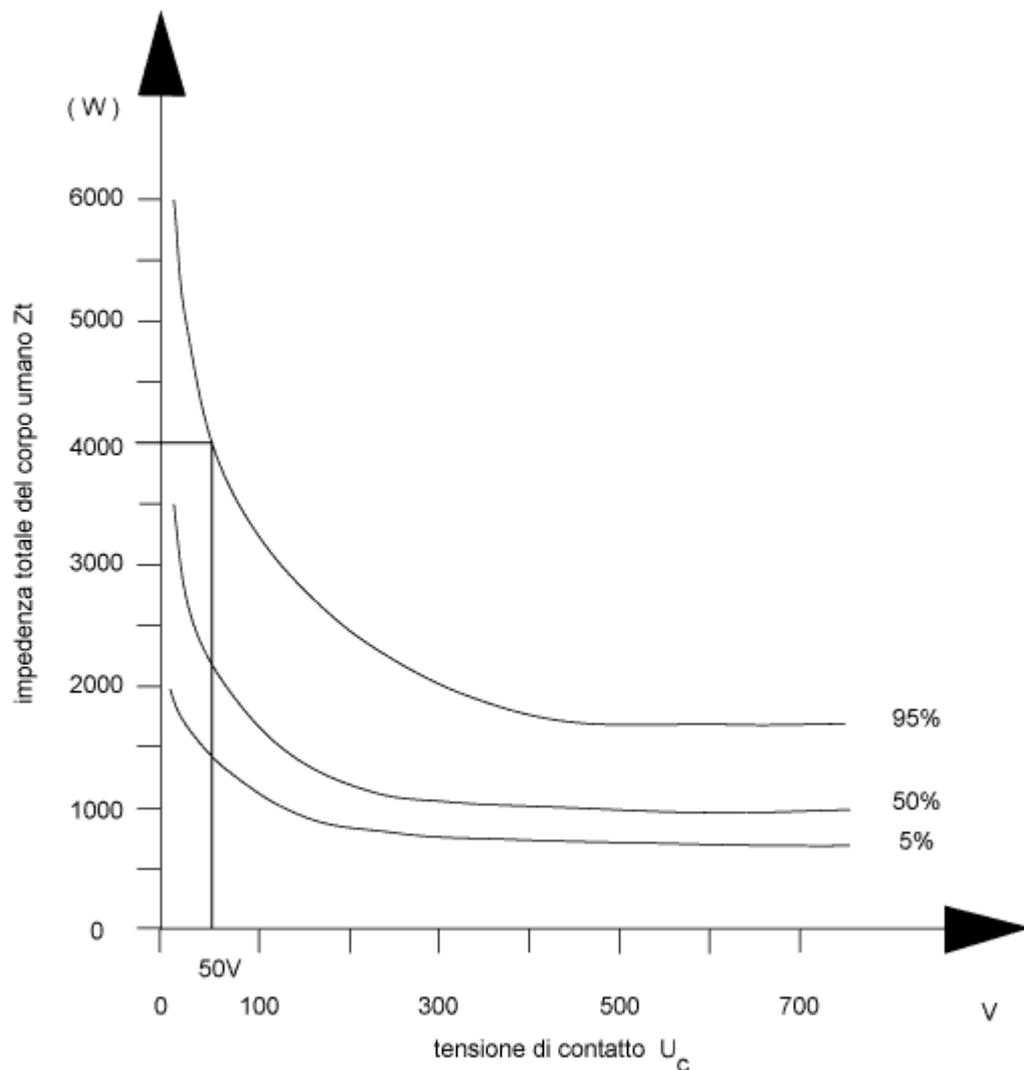
$Z_i$  = impedenza interna del corpo

$Z_{p2}$  = impedenza della pella (uscita)

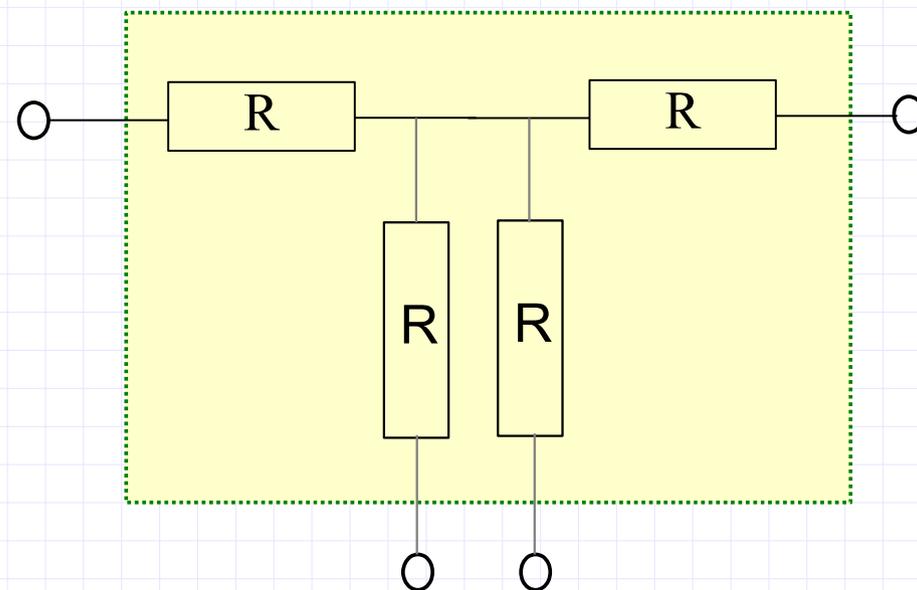
$Z_t$  = impedenza totale

# Impedenza del corpo umano

## Impedenza interna del corpo umano in funzione del percorso della corrente



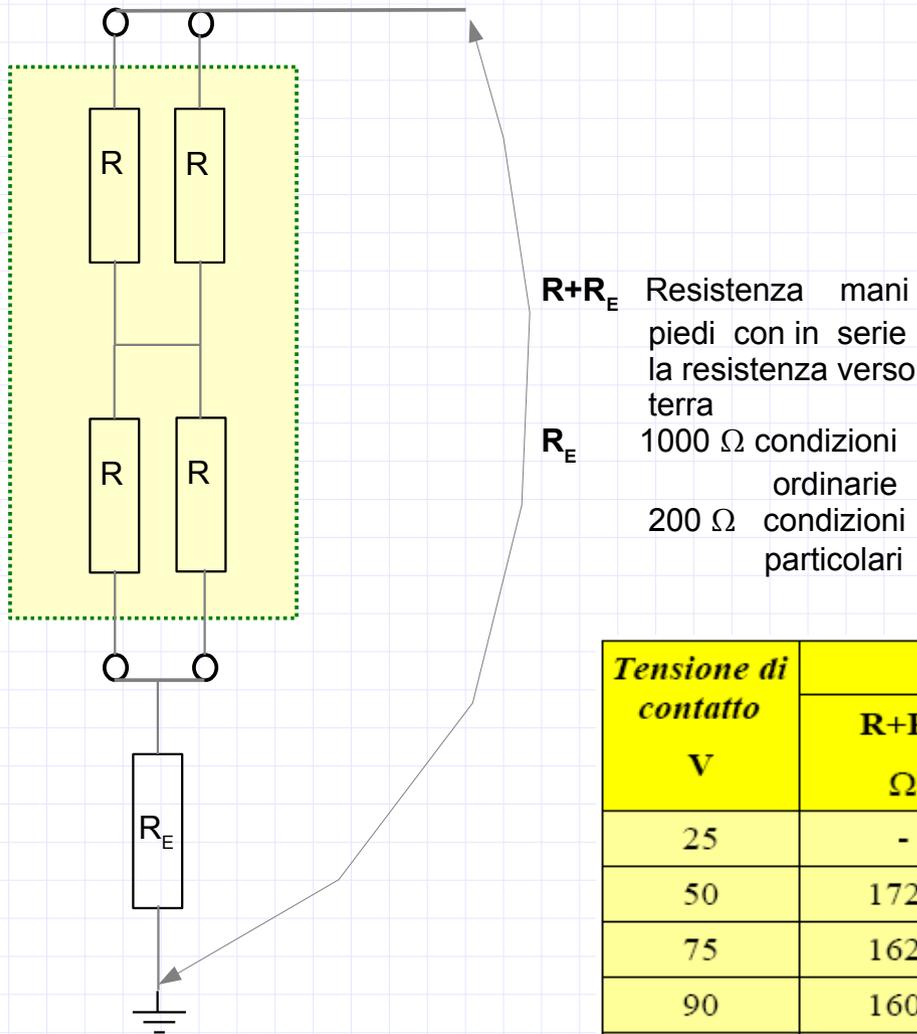
## Circuito elettrico equivalente del corpo umano



### Fattori di percorso per differenti passaggi della corrente

Percorso della corrente	FP
Mano sinistra - piede sinistro, piede destro o piedi	1,0
Due mani - piedi	1,0
Mano sinistra - mano destra	0,4
Mano destra - piede sinistro, piede destro o piedi	0,8
Schiena - mano destra	0,3
Schiena - mano sinistra	0,7
Torace - mano destra	1,3
Torace - mano sinistra	1,5
Glutei - mano sinistra, mano destra o entrambe le mani	0,7

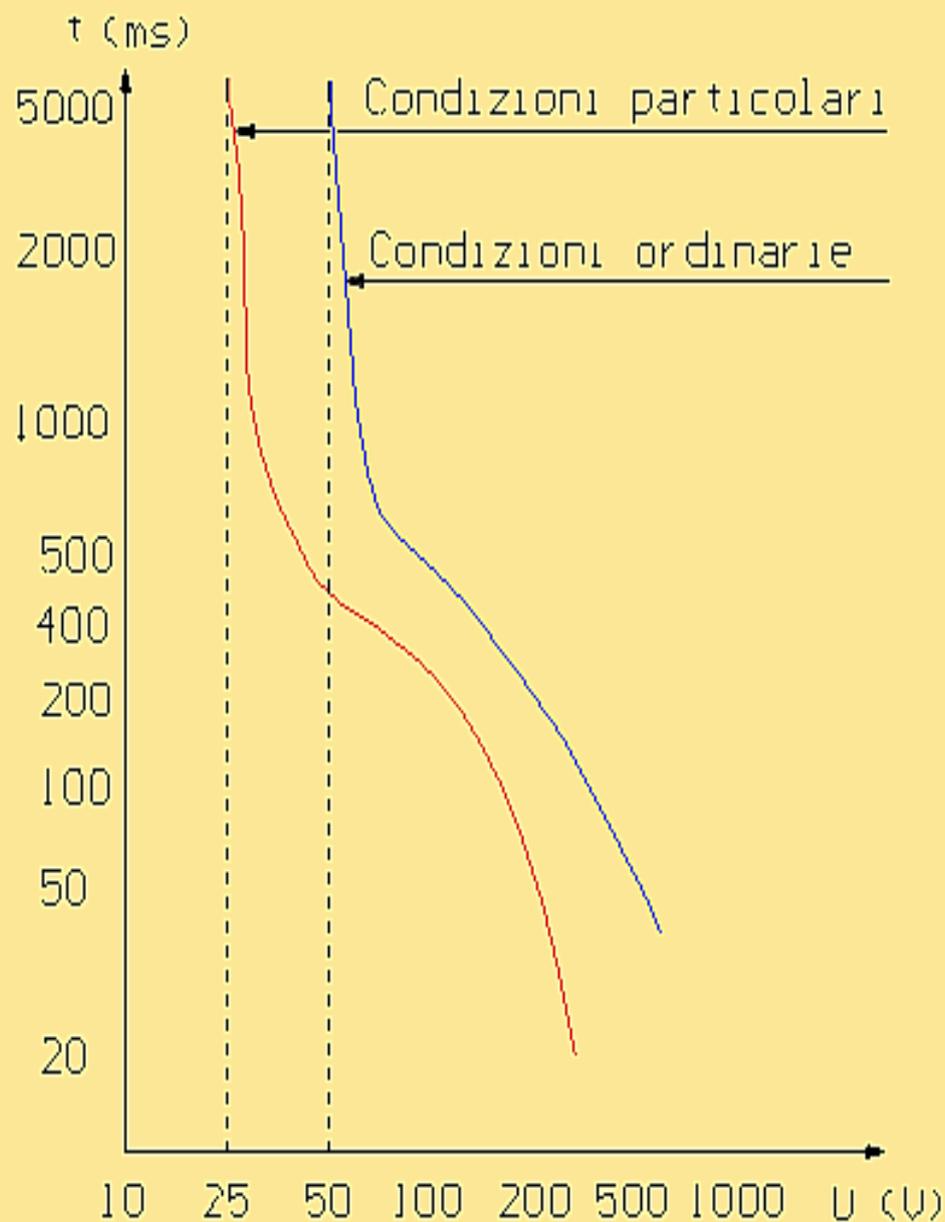
# Impedenza del corpo umano



Tensione di contatto (V)	Valori di $R$ che non sono sorpassati dal 5% della popolazione (percorso mani-piedi) ( $\Omega$ )
25	875
50	725
75	625
100	600
125	562
220	500
700	375
1000	350
Valore asintodico	325

Tensione di contatto V	Condizioni ordinarie			Condizioni particolari		
	$R+R_E$ $\Omega$	I mA	T s	$R+R_E$ $\Omega$	I mA	T s
25	-	-	-	1075	23	5
50	1725	29	5	925	54	0,47
75	1625	46	0,6	825	91	0,3
90	1600	56	0,45	780	115	0,25
110	1535	72	0,36	730	151	0,18
150	1574	102	0,27	660	227	0,1
230	1375	167	0,17	575	400	0,03
280	1370	204	0,12	570	491	0,02
500	1360	368	0,04	-	-	-

# Curve di sicurezza Tensione-Tempo



## Condizioni:

ordinarie  $U_L < 50$  V

particolari  $U_L < 25$  V

- ▶ cantieri edili
- ▶ ambienti agricoli adibiti alla custodia degli animali
- ▶ nei locali ad uso medico in generale

# Effetti al variare della frequenza

Negli impianti elettrici moderni si va continuamente estendendo l'impiego di apparecchiature alimentate in corrente alternata a frequenza elevata. I valori di frequenza più utilizzati sono ad esempio: 400 Hz in aeronautica, fino a 450 Hz per saldatura, da 4000 a 5000 Hz per elettroterapia, oltre 20 kHz per alimentatori a commutazione. I dati disponibili sul comportamento del corpo umano sottoposto a correnti ad alta frequenza sono molto limitati ed ancora a livello di studio, tuttavia i valori indicati si possono assumere come riferimento, al fine di individuare i mezzi di protezione. Occorre ricordare che l'impedenza della pelle umana varia approssimativamente in modo inversamente proporzionale alla frequenza per tensioni di contatto dell'ordine di alcune decine di volt. Per frequenze elevate oltre 500 Hz l'impedenza del corpo umano si riduce alla sola impedenza interna. Gli studi hanno dimostrato che, più la frequenza aumenta, più il rischio di fibrillazione ventricolare diminuisce ma, per contro, aumenta il rischio di bruciature. Per frequenze da 200 a 400 Hz impiegate in certe installazioni industriali per l'alimentazione di utensili, la protezione contro i contatti indiretti è identica a quella prescritta per la frequenza a 50 Hz.

**FATTORI D'INCREMENTO**  
**10000 Hz**

**Soglia**

**1000 Hz**

di percezione	<b>2,1</b>	<b>14</b>
di non rilascio	<b>1,68</b>	<b>5,2</b>
di fibrillazione	<b>14</b>	<b>-</b>

# Effetti al variare della forma d'onda

Un numero sempre crescente di utilizzatori viene alimentato con circuiti di tipo elettronico che provocano alterazioni della forma d'onda della tensione alternata.

Gli effetti di tali correnti sul corpo umano si possono considerare intermedi fra quelli provocati dalla corrente alternata a 50 Hz e dalla corrente continua.

Nei circuiti elettrici alimentanti utilizzatori con forma d'onda particolare, per la protezione contro le tensioni di contatto occorre scegliere dispositivi sensibili a questi tipi di corrente.

# Primi soccorsi

Correnti dell'ordine del centesimo di ampere possono risultare fatali per l'infortunato. Nella maggioranza dei casi la salvezza di una persona dipende dalla **tempestività d'intervento** dei soccorritori. Affinché l'intervento sia **efficace per l'infortunato e non pericoloso per il soccorritore**, occorre attuare i seguenti provvedimenti:

- ▶ Se l'infortunato è in contatto con il circuito elettrico in tensione, occorre immediatamente aprire il più vicino apparecchio di sezionamento.
- ▶ Se non è possibile aprire il circuito, occorre staccare l'infortunato con l'aiuto di mezzi isolanti.
- ▶ Senza perdere tempo e, possibilmente, senza muovere l'infortunato iniziare la respirazione artificiale con il metodo bocca-bocca.
- ▶ Far chiamare da altri, se possibile, il medico o l'autoambulanza avvertendo che si tratta di infortunio da corrente elettrica.
- ▶ Continuare con la respirazione artificiale e, nel caso di arresto cardiaco, praticare il massaggio toracico comprimendo ritmicamente la regione del cuore con un ritmo di 30-60 pressioni al minuto. Per queste operazioni si richiede la presenza di due persone.

Occorre sottolineare che la respirazione artificiale deve essere iniziata il più presto possibile in quanto i centri nervosi non possono sopravvivere, se privati di sangue ossigenato, per tempi superiori a qualche minuto.

# **Le misure di protezione contro i contatti accidentali**

**Contatti accidentali**

**Contatti diretti**

**Contatti indiretti**

# Contatti accidentali

Negli impianti elettrici possono verificarsi una serie di guasti che in alcuni casi compromettono la funzionalità delle apparecchiature, in altri innescano incendi o sono fonti di pericolo per l'integrità dei beni o delle persone.

Tipicamente, gli infortuni elettrici sono dovuti a contatti con parti in tensione ciò provoca la circolazione di una corrente elettrica all'interno corpo umano.

I contatti che una persona può avere con le parti in tensione sono concettualmente divisi in due categorie:

► **contatti diretti;**

► **contatti indiretti** (*con masse e/o masse estranee*).

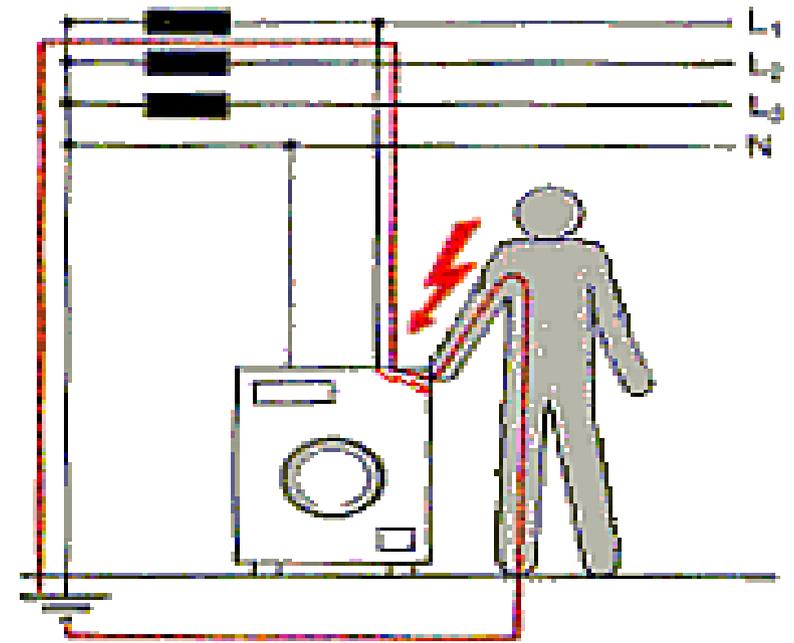
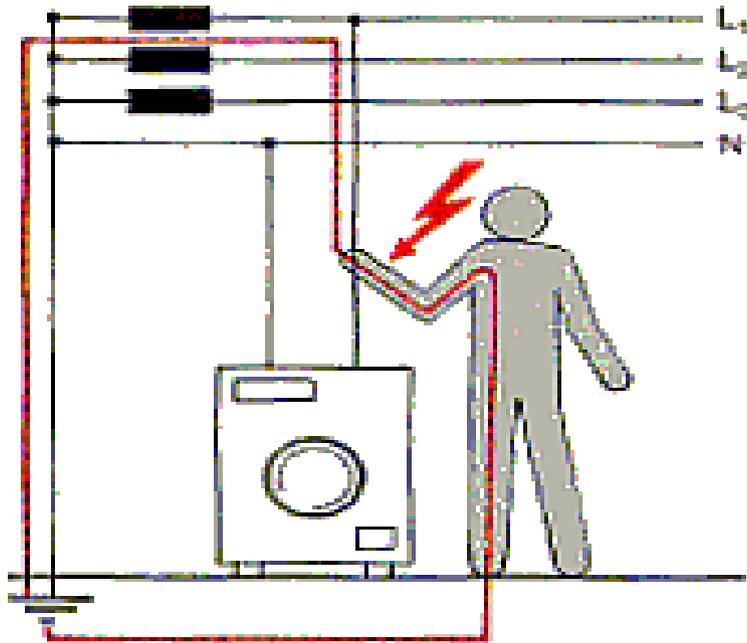
**Massa:** *parte conduttrice di un componente elettrico che può essere toccata e che nelle condizioni ordinarie di funzionamento non è in tensione ma che può andare in tensione in condizioni di guasto.*

**Massa estranea:** *parte conduttrice non facente parte dell'impianto elettrico che può introdurre un potenziale pericoloso (generalmente il potenziale di terra). Sono masse estranee, e.g., gli elementi metallici di strutture di edifici, le condutture dell'acqua e del gas. È richiesta l'equipotenzializzazione delle masse estranee se presentano un  $R_T < 1000 \Omega$  o  $R_T < 200 \Omega$  rispettivamente in condizioni ordinarie*

# Contatti accidentali: diretti ed indiretti

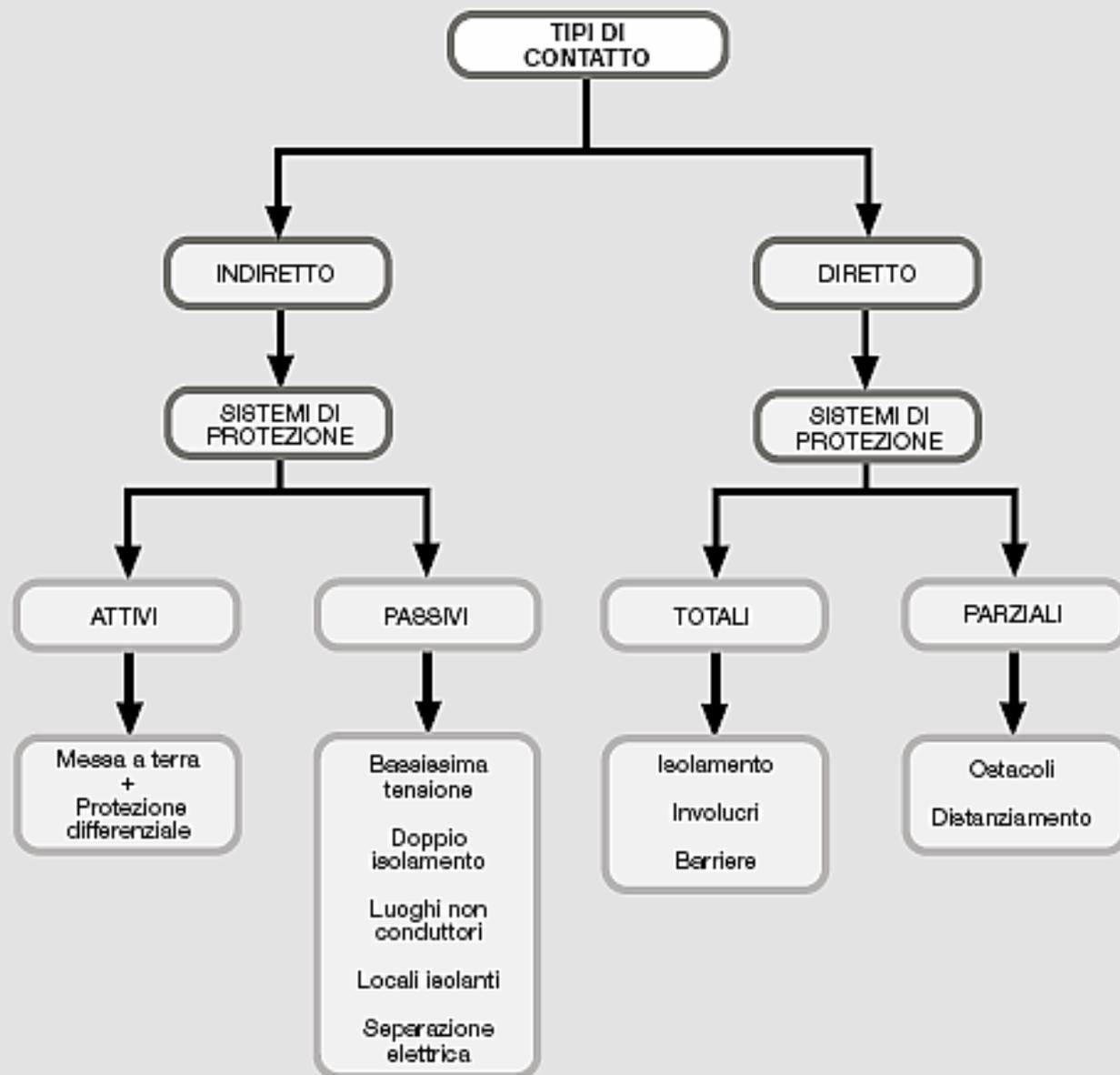
Si ha un **contatto diretto** quando una parte del corpo umano viene a contatto con una parte dell'impianto elettrico normalmente in tensione (*conduttori, morsetti, ecc.*).

Un **contatto indiretto** si dice invece quando una parte del corpo umano viene a contatto con una massa o con altra parte conduttrice, normalmente non in tensione, ma che accidentalmente si trova in tensione in seguito ad un guasto o all'usura dell'isolamento.



# Contatti accidentali: metodi di protezione

I metodi di protezione contro i contatti diretti e indiretti possono essere sinteticamente riassunti nello schema a fianco riportato.



# Contatti diretti: protezione totale

La protezione totale è adottabile in tutti gli ambienti ordinari nei quali sono presenti persone non addestrate a valutare i rischi e i pericoli connessi con l'uso dell'elettricità e si attua mediante isolamento delle parti attive, oppure mediante involucri o barriere.

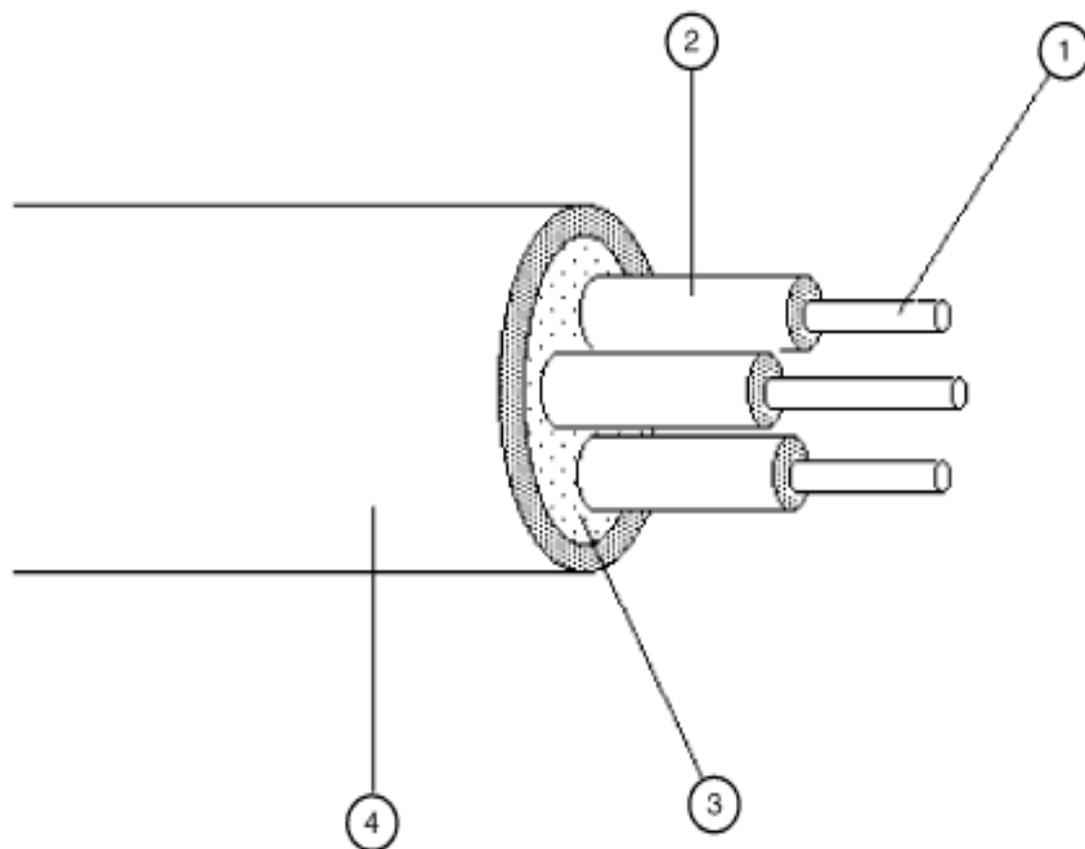
Si ricorda che ogni elemento conduttore che si trova in tensione in servizio ordinario è ritenuto una parte attiva; sono perciò da considerare parti attive i conduttori di fase e il conduttore di neutro.

Nei sistemi di distribuzione TN-C il conduttore PEN per convenzione non si ritiene parte attiva.

Le protezioni possibili sono:

- ▶ Protezione mediante isolamento delle parti attive
- ▶ Protezione mediante involucri o barriere

# Contatti diretti: protezione totale



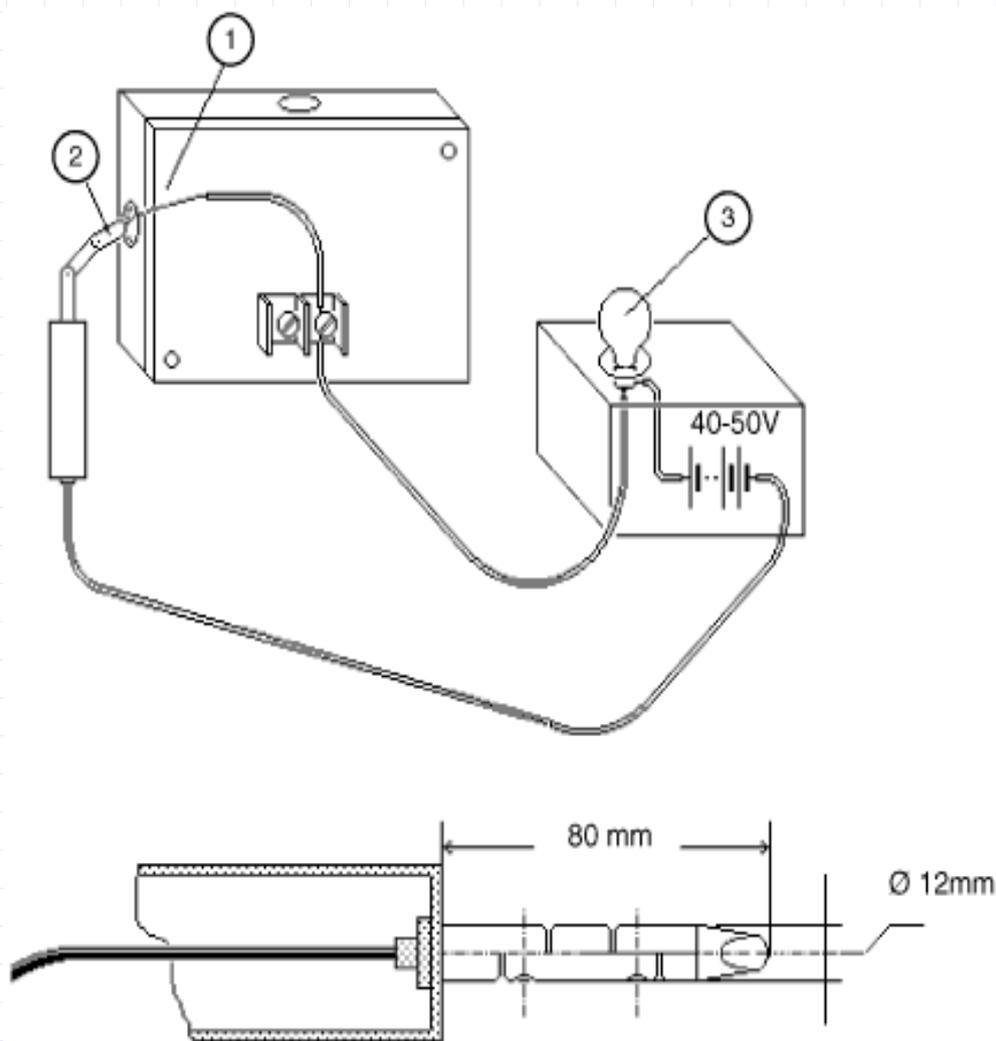
- 1) Parte attiva
- 2) Isolamento funzionale
- 3) Isolamento supplementare avente lo scopo di proteggere contro i contatti diretti o indiretti
- 4) Eventuale ulteriore protezione meccanica contro gli urti e lo schiacciamento (armatura)

## Isolamento delle parti attive

Devono essere rispettate le seguenti prescrizioni:

- ▶ parti attive ricoperte completamente con isolamento che può essere rimosso solo a mezzo di distruzione;
- ▶ altri componenti elettrici devono essere provvisti di isolamento resistente alle azioni meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali può essere soggetto nell'esercizio.

# Contatti diretti: protezione totale



Il grado di protezione IPXXB si prova con il dito di prova 2 cercando di stabilire il contatto elettrico attraverso l'apertura 1. La prova ha esito positivo se non si accende la lampada 3

## Involucri o barriere

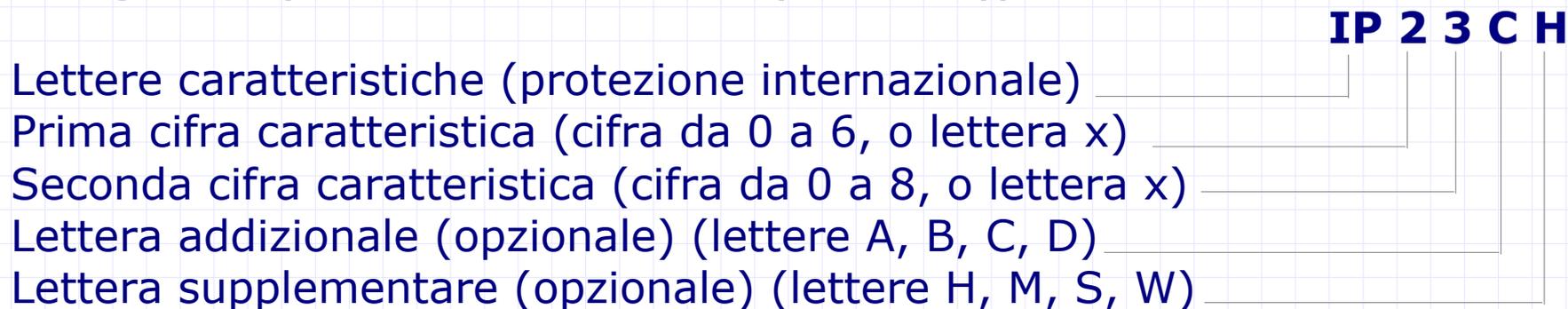
Devono essere rispettate le seguenti prescrizioni:

- ▶ parti attive contenute entro involucri o dietro barriere con grado di protezione almeno IP2X o IPXXB;
- ▶ superfici orizzontali delle barriere o involucri a portata di mano, con grado di protezione almeno IP4X o IPXXD;
- ▶ involucri o barriere saldamente fissati in modo da garantire, nelle condizioni di servizio prevedibili, la protezione nel tempo;
- ▶ barriere o involucri devono poter essere rimossi o aperti solo con l'uso di una chiave o di un attrezzo speciale;
- ▶ il ripristino dell'alimentazione deve essere possibile solo dopo sostituzione o richiusura delle barriere o degli involucri.

# Contatti diretti: protezione totale

## Gradi di protezione degli involucri

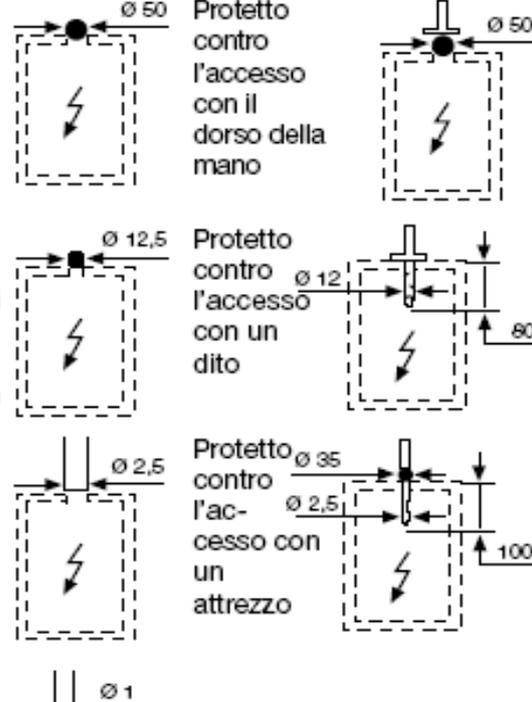
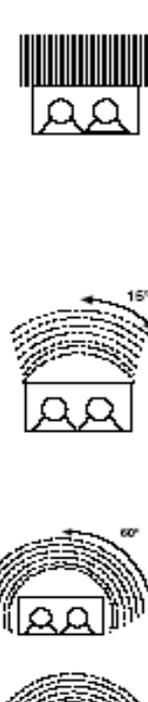
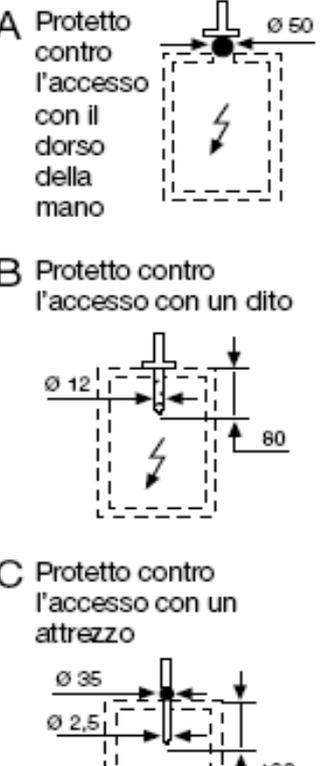
Il grado di protezione di un involucro è indicato con il codice IP la cui struttura è la seguente (Norma CEI EN 60529 (CEI 70-1)):



### Note

- ▶ Quando non sia richiesta una cifra caratteristica, quest'ultima deve essere sostituita dalla lettera "X" ("XX" se sono omesse entrambe le cifre).
- ▶ Le lettere addizionali e/o supplementari possono essere omesse senza essere sostituite.
- ▶ Nel caso di più lettere supplementari, si deve applicare l'ordine alfabetico.
- ▶ Se un involucro fornisce diversi gradi di protezione per differenti sistemi di montaggio, il costruttore deve indicare nelle istruzioni i gradi di protezione corrispondenti ai differenti sistemi di montaggio.

# Contatti diretti: protezione totale

IP — Esempio — <b>2</b>	<b>3</b>	<b>C</b>	<b>S</b>
1ª CIFRA CARATTERISTICA Protezione contro la penetrazione di corpi solidi estranei e contro l'accesso a parti pericolose	2ª CIFRA CARATTERISTICA Protezione contro la penetrazione di acqua	LETTERA ADDIZIONALE (*) (Opzionale)	LETTERA SUPPLEMENTARE (Opzionale)
<p>Significato per la protezione dell'apparecchiatura contro la penetrazione di corpi solidi estranei</p> <p>Significato per la protezione delle persone contro l'accesso a parti pericolose</p> <p><b>0</b> Non protetto</p> <p><b>1</b> Protetto contro corpi solidi di diametro &gt; 50 mm</p> <p><b>2</b> Protetto contro corpi solidi di diametro &gt; 12,5 mm</p> <p><b>3</b> Protetto contro corpi solidi di diametro &gt; 2,5 mm</p> <p><b>4</b> Protetto contro corpi solidi di diametro &gt; 1 mm</p> 	<p>Significato per la protezione dell'apparecchiatura contro la penetrazione di acqua con effetti dannosi</p> <p><b>0</b> Non protetto</p> <p><b>1</b> Protetto contro la caduta verticale di gocce d'acqua</p> <p><b>2</b> Protetto contro la caduta di gocce d'acqua con inclinazione massima di 15°</p> <p><b>3</b> Protetto contro la pioggia</p> <p><b>4</b> Protetto contro gli spruzzi d'acqua</p> 	<p>Significato per la protezione delle persone contro l'accesso a parti pericolose</p> <p><b>A</b> Protetto contro l'accesso con il dorso della mano</p> <p><b>B</b> Protetto contro l'accesso con un dito</p> <p><b>C</b> Protetto contro l'accesso con un attrezzo</p> 	<p>Informazioni supplementari per la protezione dell'apparecchiatura</p> <p><b>H</b> Apparecchiatura ad alta tensione</p> <p><b>M</b> Provato contro gli effetti dannosi dovuti all'ingresso di acqua con la apparecchiatura in moto</p> <p><b>S</b> Provato contro gli effetti dannosi dovuti all'ingresso di acqua con la apparecchiatura non in moto</p> <p><b>W</b> Adatto all'uso in condizioni atmosferiche specifiche</p>

# Contatti diretti: protezione parziale

Sono destinate unicamente a personale addestrato; si attuano mediante ostacoli o distanziamento.

Impediscono il contatto non intenzionale con le parti attive. Nella pratica sono misure applicate solo nelle officine elettriche.

Devono essere rispettate le seguenti prescrizioni:

## Ostacoli

Devono impedire:

- ▶ l'avvicinamento non intenzionale del corpo a parti attive;
- ▶ il contatto non intenzionale con parti attive durante lavori sotto tensione nel funzionamento ordinario.

Gli ostacoli possono essere rimossi senza una chiave o un attrezzo speciale, ma devono essere fissati in modo da impedirne la rimozione accidentale.

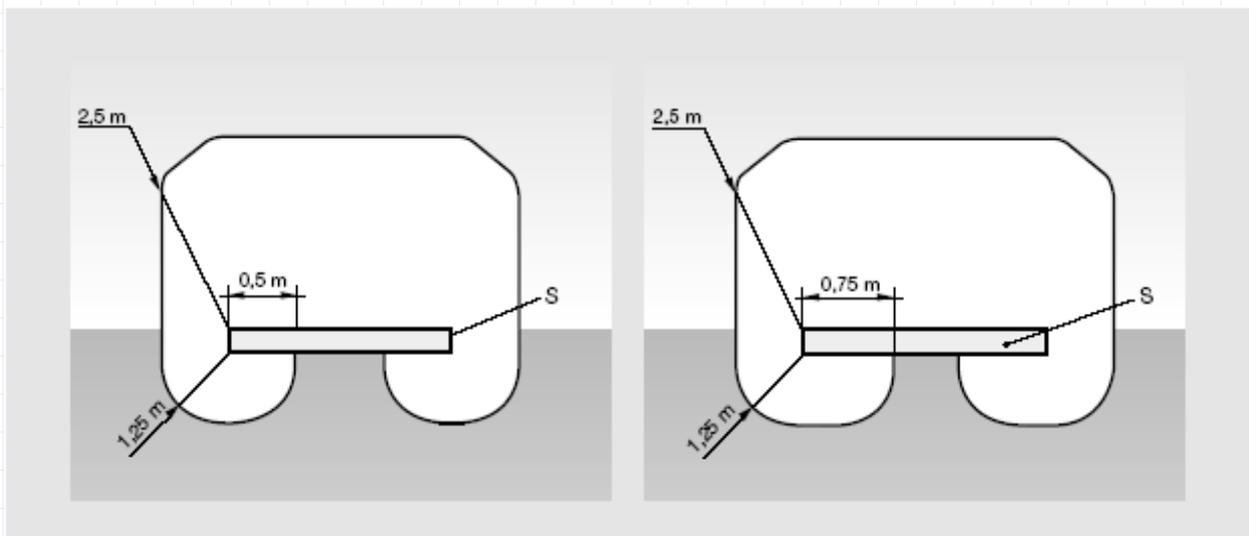
## Distanziamento

Il distanziamento delle parti simultaneamente accessibili deve essere tale che esse non risultino a portata di mano.

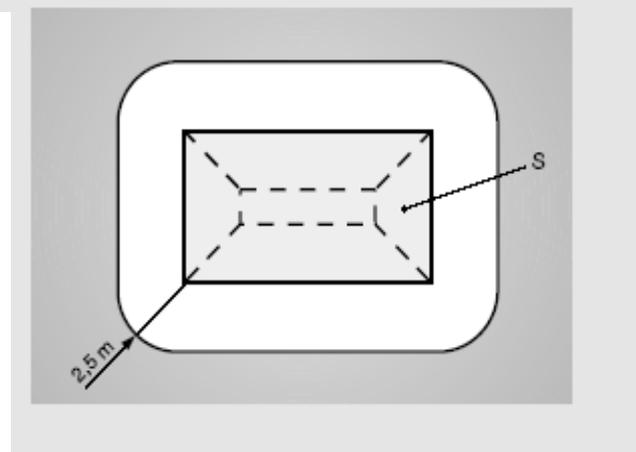
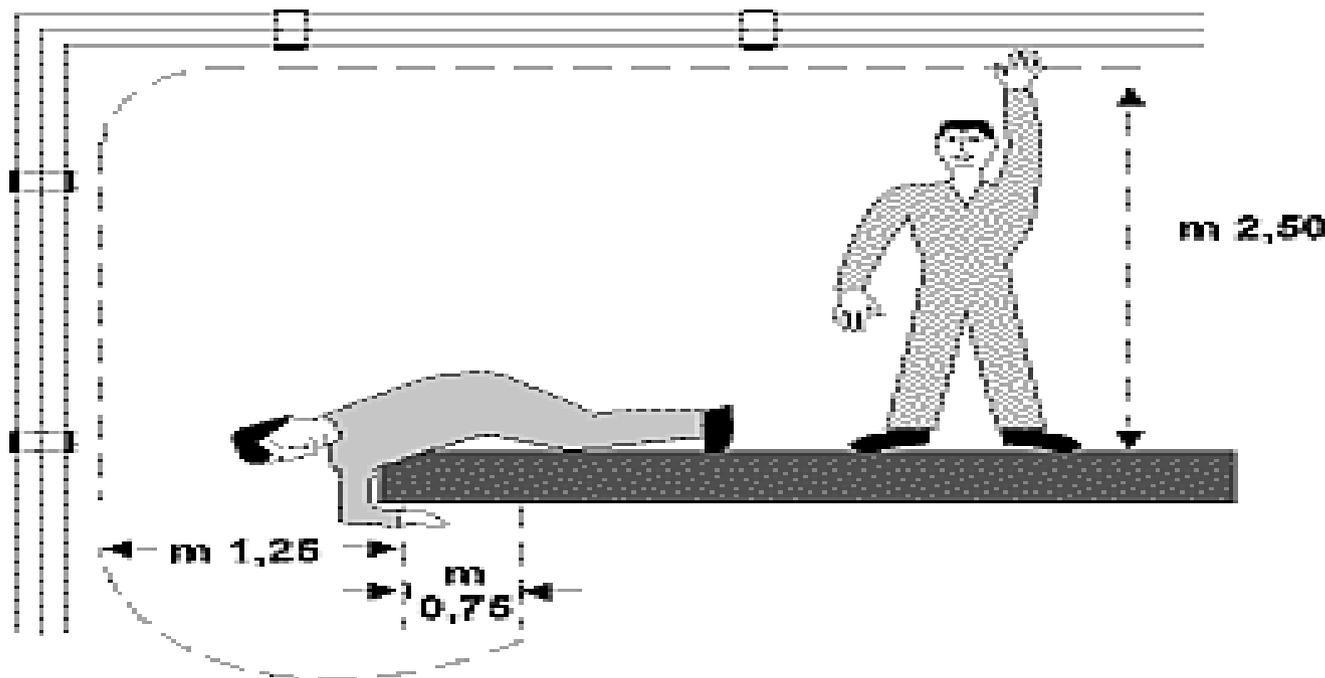
La zona a portata di mano inizia dall'ostacolo (per es. parapetti o rete grigliata) che abbia un grado di protezione < IPXXB.

# Contatti diretti: protezione parziale

Parti ritenute "a portata di mano" secondo la Norma CEI 64-8



Allontanamento oltre il volume di accessibilità



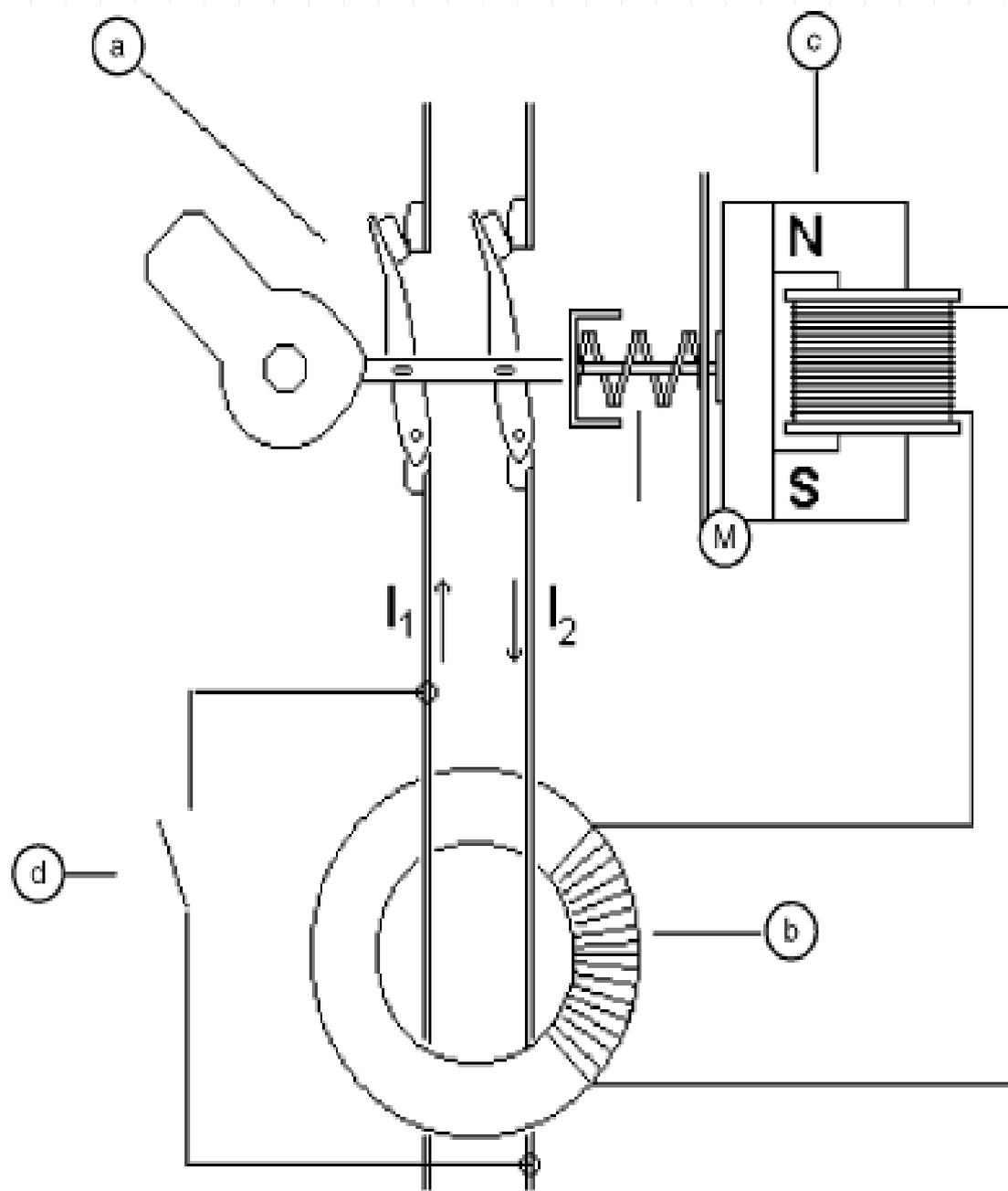
# Contatti diretti: protezione aggiuntiva

La **protezione con interruttori differenziali** con  **$I_{dn} \leq 30 \text{ mA}$** , pur eliminando gran parte dei rischi dovuti ai contatti diretti, non è riconosciuta quale elemento unico di protezione completa e richiede comunque l'abbinamento con una delle misure di protezione di cui si è detto. L'uso dell'interruttore differenziale da 30 mA permette inoltre la protezione contro i contatti indiretti in condizioni di messa a terra incerte ed è sicuramente una protezione efficace contro i difetti di isolamento, origine di piccole correnti di fuga verso terra (***rischio d'incendio***).

---

**NOTA.** Gli incendi che posso avere origine nei *quadri di distribuzione primaria o di subdistribuzione, cassette di distribuzione, motori, cavi* e sono dovuti in buona parte dei casi al cedimento dell'isolamento, per invecchiamento, per surriscaldamento o per sollecitazione meccanica delle parti isolanti, con il conseguente fluire di deboli correnti di dispersione verso massa o tra le fasi che, aumentando di intensità nel tempo, possono innescare "***l'arco***", sicura fonte termica per l'inizio di un incendio. Il guasto però non sempre si evolve in questo modo: a volte la "***debole corrente di dispersione***" al suo nascere è sufficiente ad innescare un focolaio di incendio se esso interessa un volume ridotto di materiale organico. Per esempio una corrente di 200 mA alla tensione di fase di 220 V, sviluppa una potenza termica di 44 W che paragonata a quella di circa 35 W della fiamma di un fiammifero dà un'idea della possibilità di cui sopra. L'esperienza dimostra che pericoli di incendio possono presentarsi, in alcune condizioni, già quando la corrente oltrepassa i 70 mA a 220 V (15,5 W). Pertanto per un'efficace protezione contro l'incendio è necessario che il guasto venga eliminato al suo insorgere. Questo è possibile solo con l'impiego di dispositivi di protezione che intervengano in corrispondenza dei suddetti valori di corrente, cioè gli "**interruttori differenziali**".

# Contatti diretti: protezione aggiuntiva



## L'interruttore differenziale

In condizioni di funzionamento normale dell'impianto, le correnti che percorrono gli avvolgimenti principali sono uguali e pertanto in tale situazione non si genera nell'avvolgimento secondario nessuna forza elettromotrice. Se invece per difetto di isolamento si verifica una dispersione di corrente a valle del rilevatore differenziale, per difetto di isolamento o per contatto diretto, si determina una corrente risultante tale da permettere un flusso magnetico nel toroide che genera una forza elettromotrice nell'avvolgimento secondario tale da consentire la smagnetizzazione del relè polarizzato e quindi l'apertura dei contatti. Tutti gli interruttori differenziali sono muniti di un tasto di prova mediante il quale è possibile verificare periodicamente la funzionalità dell'apparecchio.

# Contatti diretti: protezione aggiuntiva

Riguardo la destinazione d'uso i **differenziali** si distinguono in:

## ***interruttori differenziali per uso domestico e simile***

possono essere di tipo G (generale) o di tipo S (selettivo) con  $I_{dn} \leq 1A$  e  $t \leq 1s$ , possono avere elementi di commutazione per la regolazione delle soglie d'intervento

## ***interruttori differenziali per uso generale***

possono essere di tipo G (generale) o di tipo S (selettivo) con  $I_{dn} \leq 3A$  e  $t \leq 3s$ , nei grossi quadri generali e di distribuzione possono essere impiegati anche relè differenziali, separati dagli interruttori automatici magnetotermici, con  $I_{dn} \leq 25 A$  (e oltre) e  $t \leq 5 s$ .

In relazione alla forma d'onda della corrente di dispersione, le Norme CEI 23-42 e 23-44 considerano i differenziali di tipo AC (*idonei a essere installati in circuiti nei quali sono previste correnti differenziali di tipo alternato*) e di tipo A (*installati nei circuiti nei quali si possono manifestare correnti di dispersione di tipo alternato o di tipo pulsante unidirezionale*). Le Norme CEI 23-42 e 23-44 suddividono dal punto di vista dei tempi di intervento gli interruttori differenziali in due tipi

- tipo *generale non ritardato*, **G**, (il tempo totale di intervento varia in funzione della corrente differenziale da 40 a 300 ms);
- tipo *selettivo*, **S**, con tempi totali di intervento variabili in funzione della corrente differenziale da 150 a 500 ms e tempi di non intervento tali da risultare per correnti di dispersione non inferiori a  $5 I_{Dn}$  superiori ai tempi massimi di intervento dei dispositivi di tipo generale. **I tipi S non sono validi per la protezione aggiuntiva contro i contatti diretti** e sono impiegati come protezione generale poiché risultano selettivi rispetto ai tipi da 0,3 A e 0,03 A.

# Contatti diretti: omissione protezione

La protezione contro i contatti diretti di tipo totale o parziale **deve essere prevista nella generalità dei casi**. Tuttavia l'articolo 481.2.3 della Norma CEI 64-8 ammette l'omissione nei luoghi accessibili solo a persone addestrate se si attuano contemporaneamente le 3 condizioni seguenti:

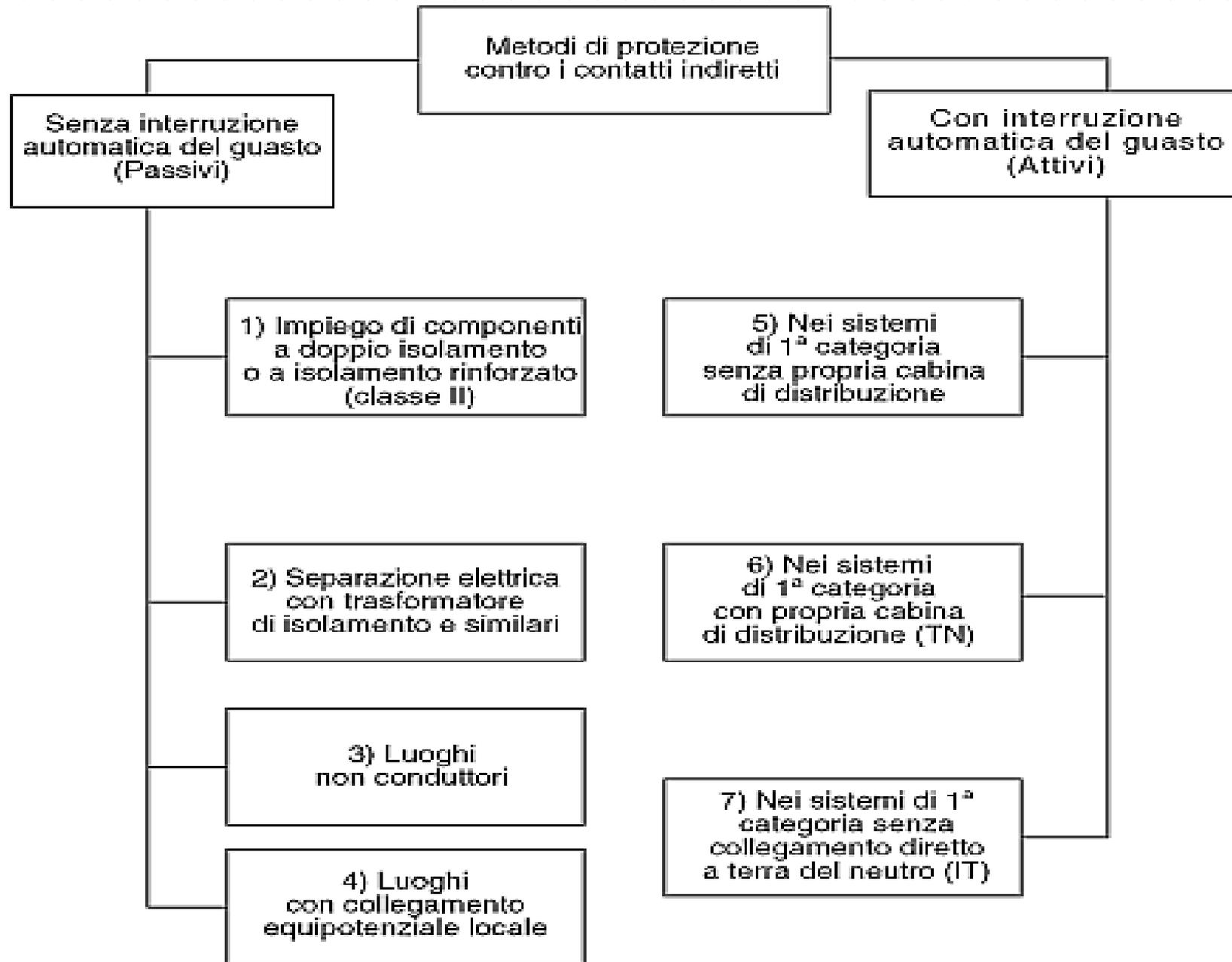
- 1) si tratti di luoghi ai quali è possibile l'accesso solo mediante mezzi speciali (*per esempio chiave in unico esemplare o chiave speciale*);
- 2) questi luoghi siano indicati chiaramente e visibilmente mediante appropriati cartelli o segnalazioni;
- 3) sia possibile uscire da questi luoghi mediante porte ad apertura incondizionata dall'interno verso l'esterno (*cioè anche quando esse siano chiuse a chiave dall'esterno*).

Ed inoltre siano rispettate per i passaggi le seguenti condizioni:

- i passaggi di manutenzione o di servizio più lunghi di 20 m devono avere accessi in corrispondenza di entrambe le 2 estremità;
- la larghezza del passaggio di servizio tra parti attive presenti su un solo lato non sia inferiore a 1 m e tra parti attive presenti su entrambi i lati non sia inferiore a 1,2 m.

In Italia l'omissione suddetta è tollerata solo in casi particolari (*officine elettriche*) e a condizione che il passaggio sia poco frequente.

# Contatti indiretti: metodi di protezione

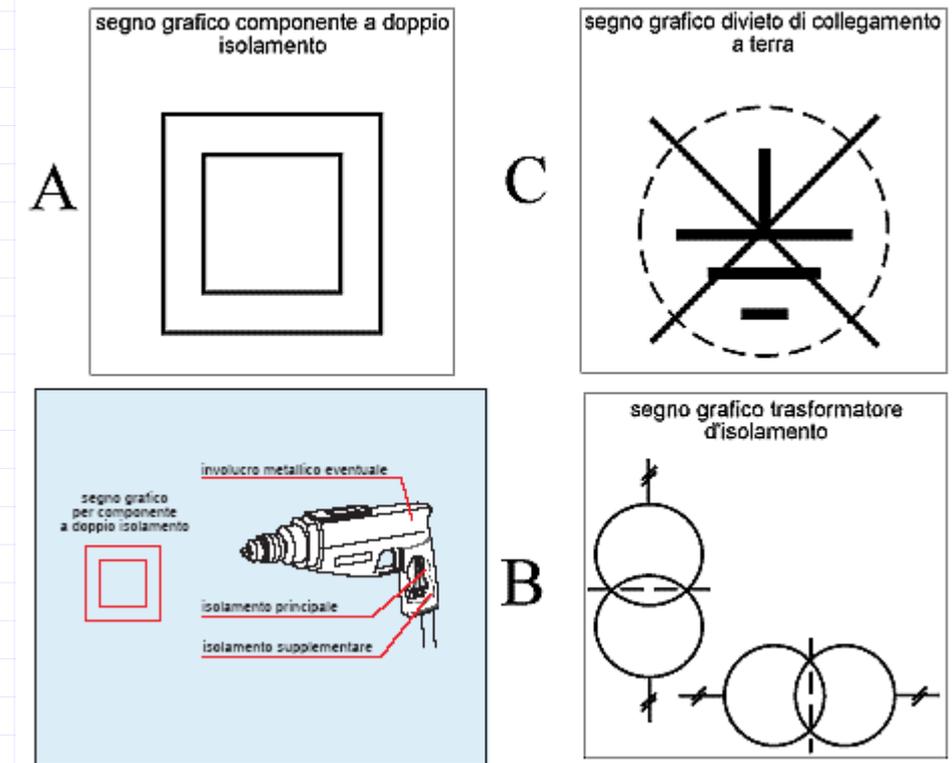


# Contatti indiretti: componenti in classe II

Al fine di ottenere le necessarie garanzie di sicurezza si richiedono particolari attenzioni durante l'installazione dei vari componenti; in particolare:

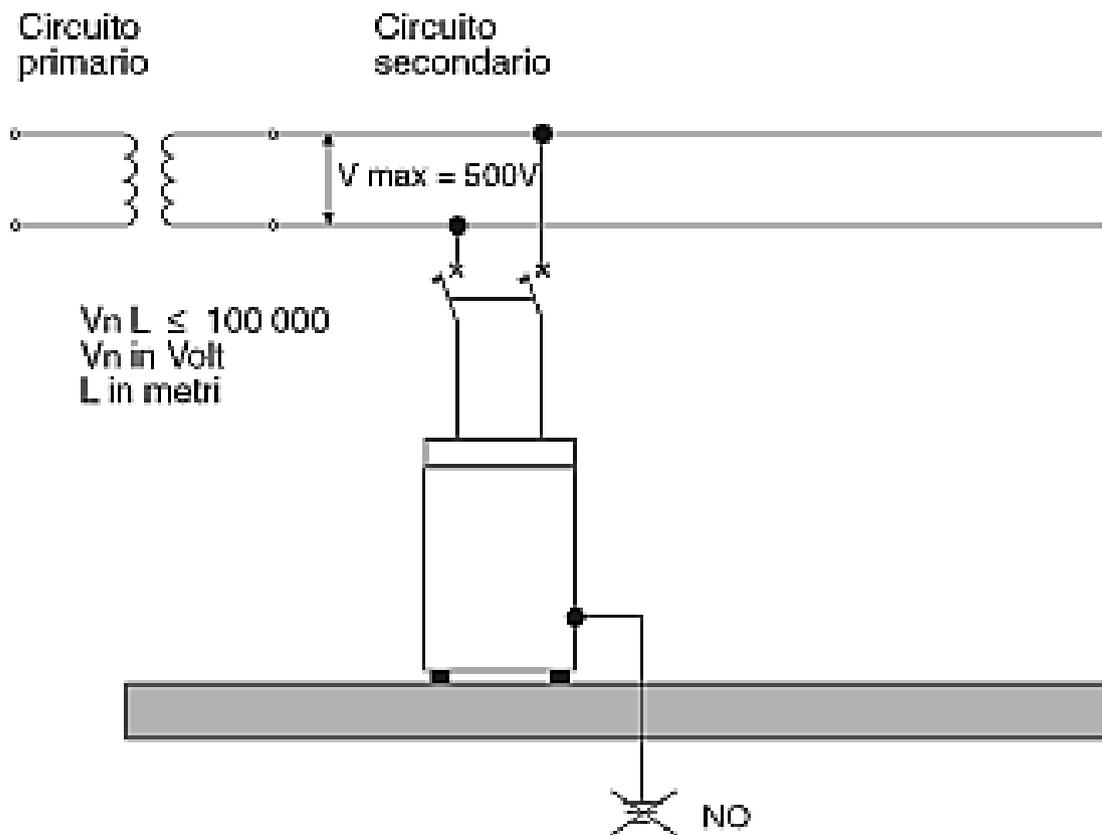
- ▶ un componente a doppio isolamento può essere utilizzato in un punto dell'impianto privo di dispositivi idonei a interrompere le correnti di guasto a terra e perciò l'eventuale PE passante deve essere isolato come se fosse un conduttore attivo; inoltre:
- ▶ nessuna parte conduttrice, né accessibile né intermedia, deve essere collegata al conduttore di protezione;
- ▶ tutte le parti conduttrici suscettibili di entrare in contatto accidentale con parti attive in caso di guasto (masse) devono essere rese inaccessibili dal doppio isolamento; se l'involucro che le racchiude è provvisto di porte o di coperchi che possono essere rimossi senza l'uso di una chiave o di un attrezzo, è necessario prevedere barriere isolanti con grado di protezione con inferiore a IP2X o a IPXXB.

Principali segni grafici riguardanti le protezioni passive

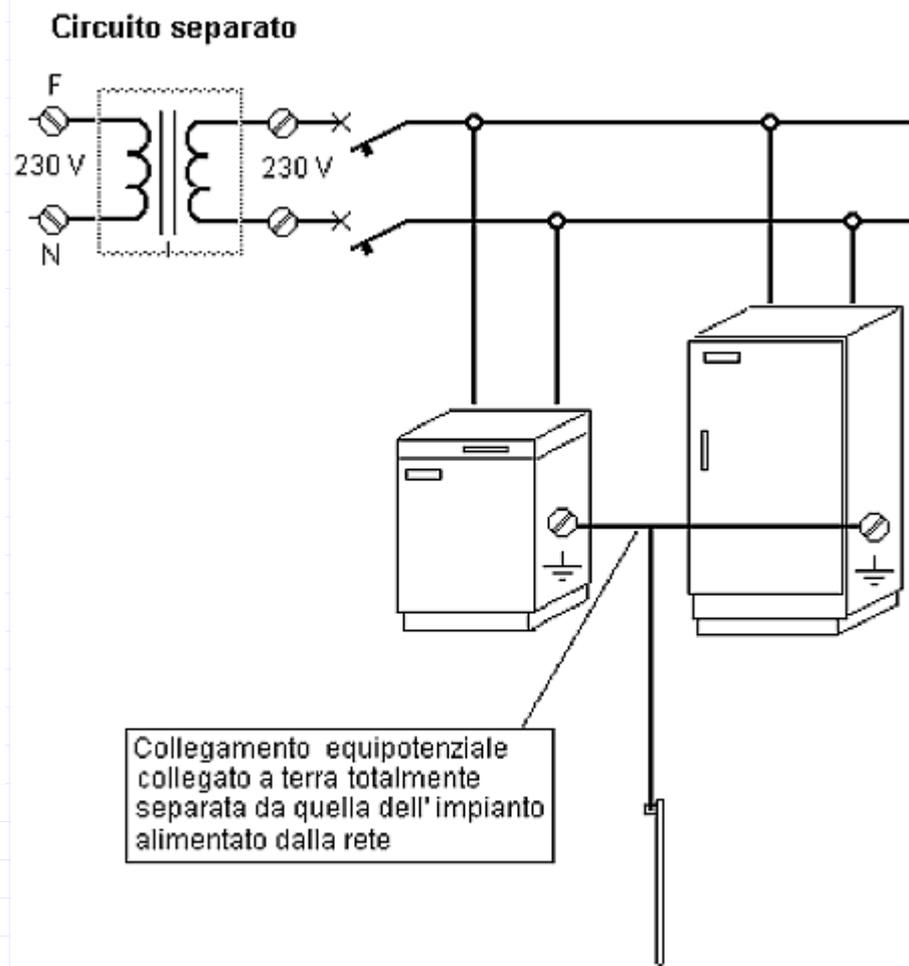


*La protezione effettuata con componenti a doppio isolamento o con isolamento rinforzato si effettua impiegando materiale elettrico (apparecchi, involucri, scatole, conduttori ecc.) che risponde a specifiche norme (e.g., per i quadri elettrici le Norme CEI 17-13/1, 17-13/3, 23-49) e che riporta il relativo marchio.*

# Contatti indiretti: separazione elettrica

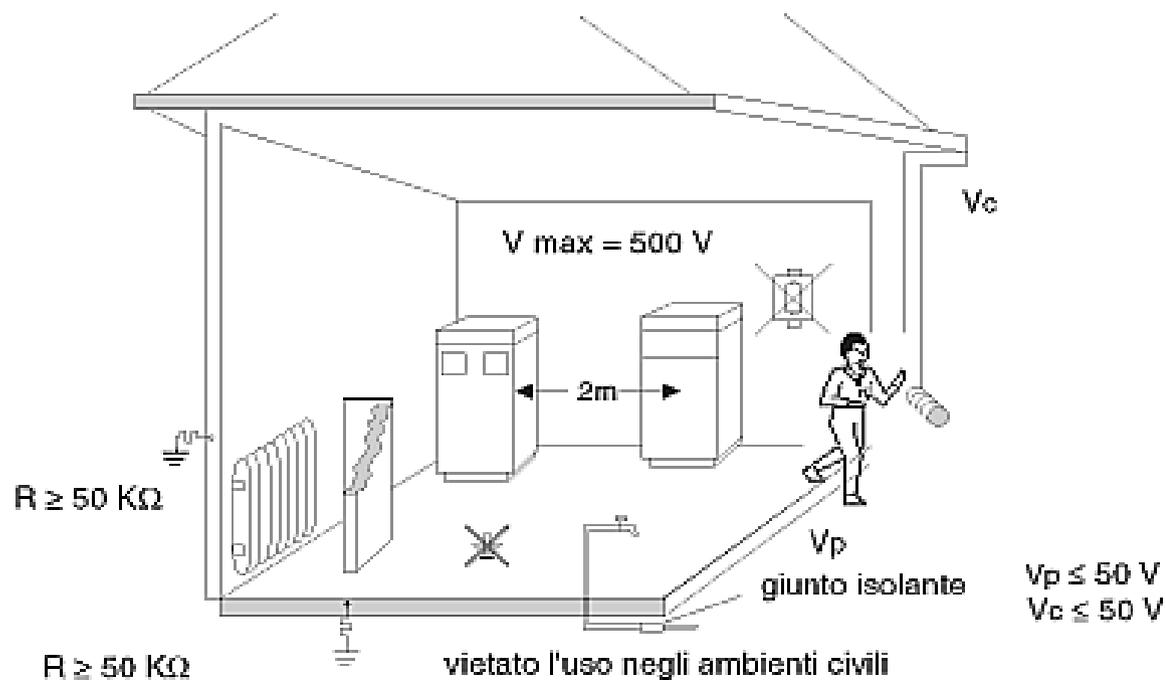
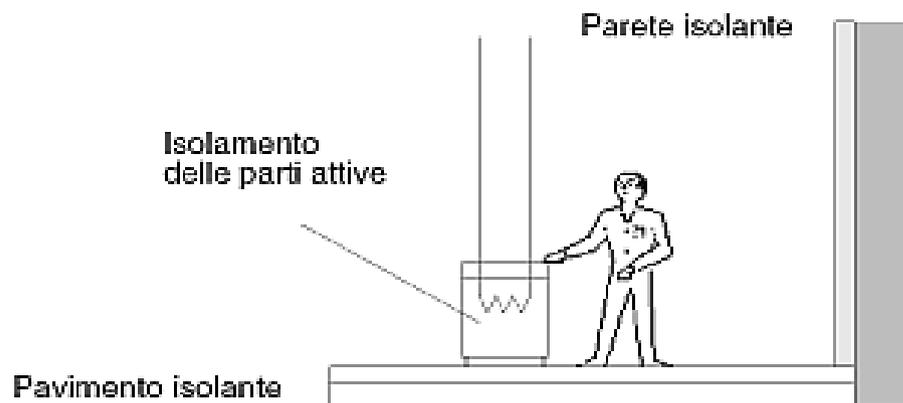


Alimentazione di un solo utilizzatore: non si deve collegare la massa né a terra, né al conduttore di protezione.

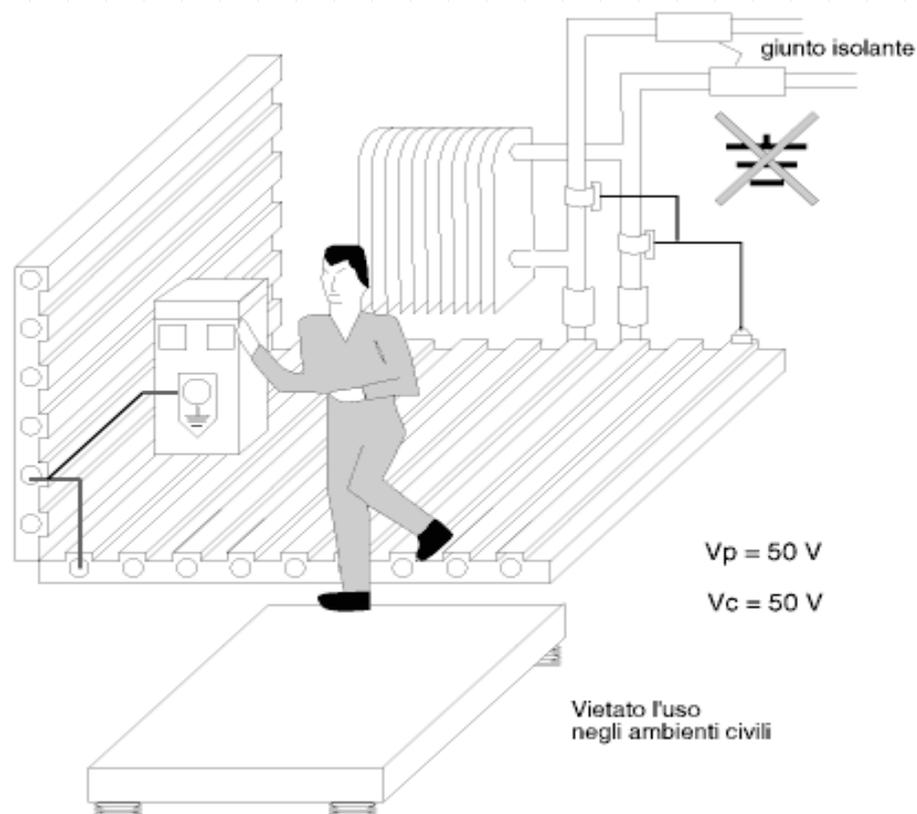


E' ammesso collegare intenzionalmente le masse del circuito separato a un impianto di terra totalmente separato da quello ordinario.

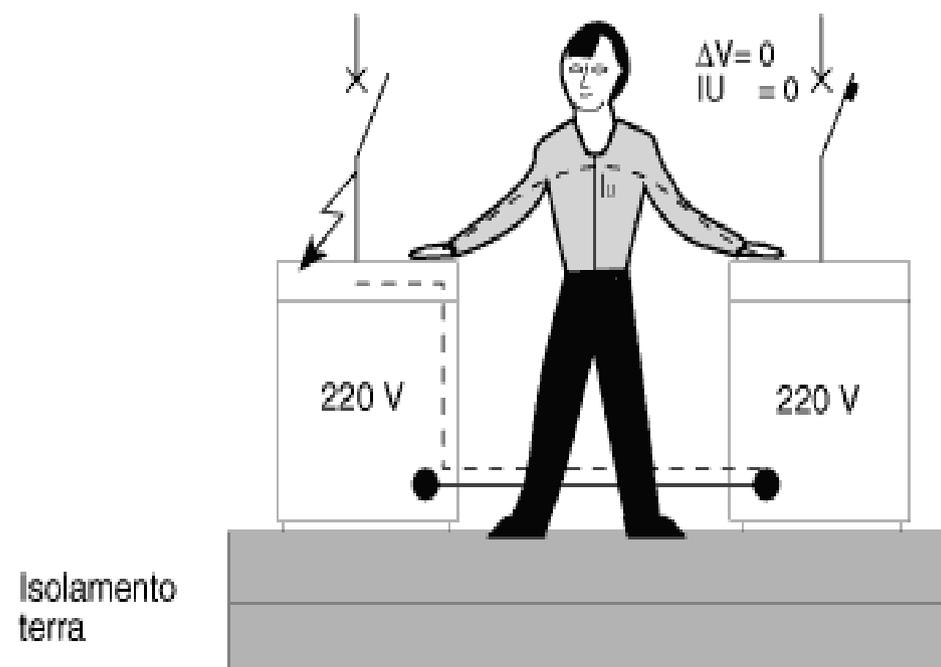
# Contatti indiretti: luoghi non conduttori



# Contatti indiretti: colleg. equipot. locale



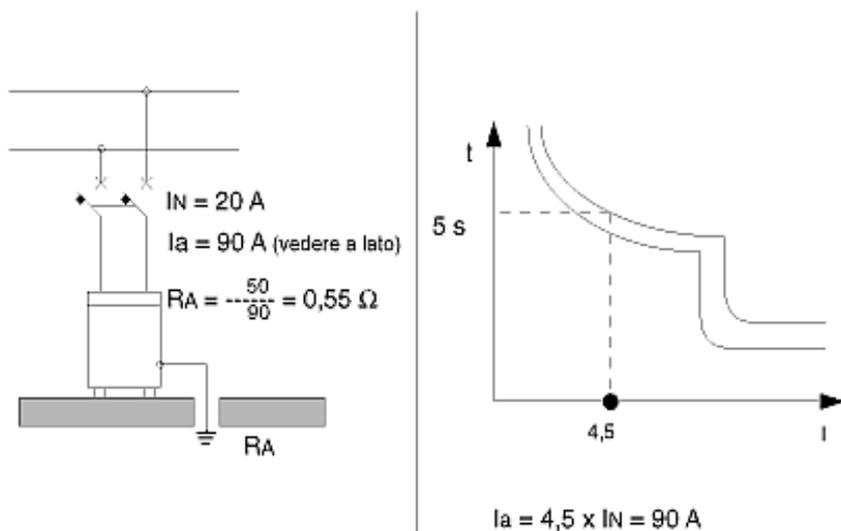
Principio della protezione mediante collegamento equipotenziale locale non connesso a terra



# Contatti indiretti: interruzione automatica

## Sistema TT

Limiti di impiego degli interruttori automatici magnetotermici per la protezione dei sistemi TT

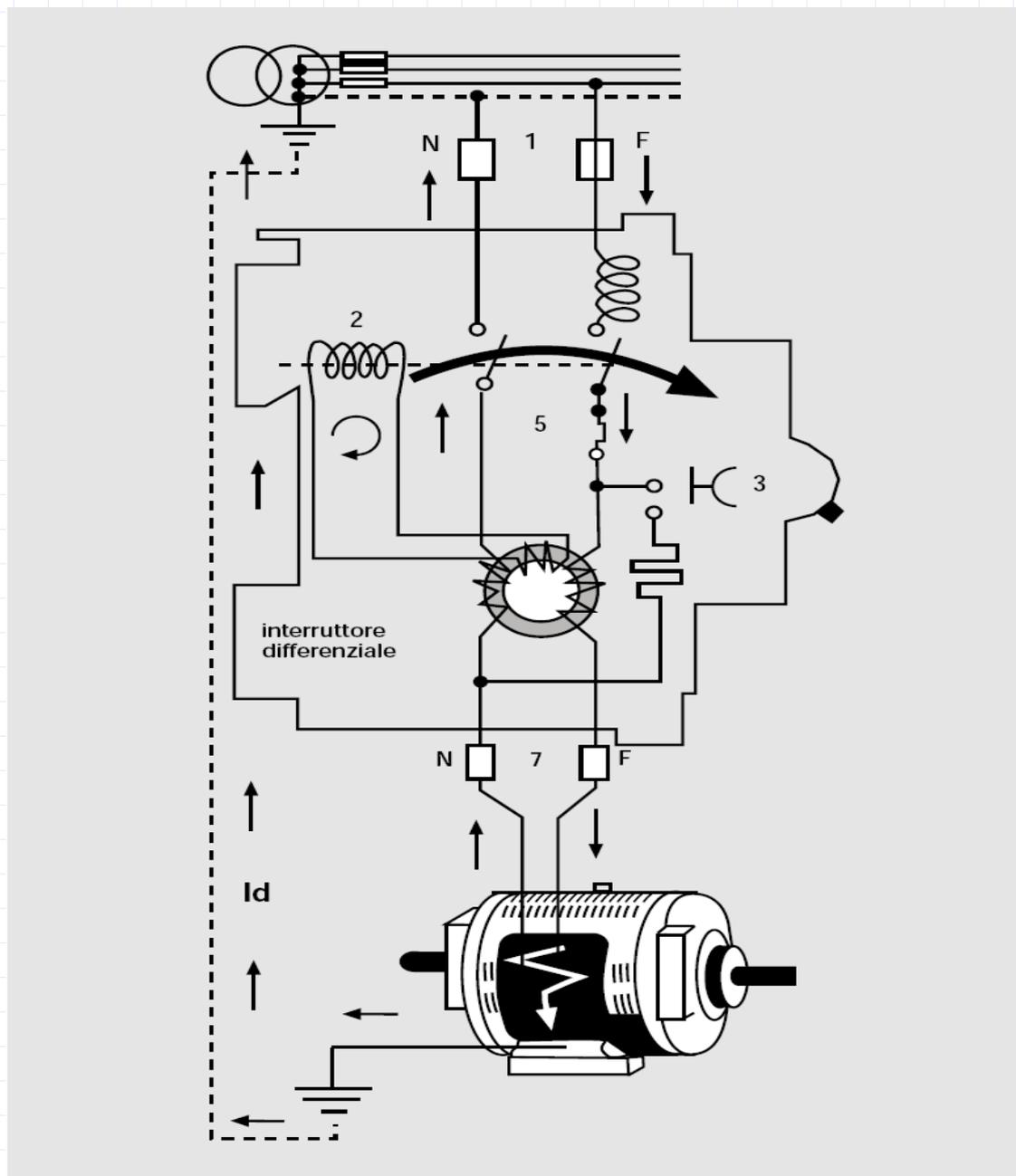


$$R_t = \frac{\rho}{L} \quad L \geq \frac{\rho}{R_t} \geq \frac{300}{0,55} \approx 545\text{ m}$$

oppure  $\frac{L}{10} \approx 55$  picchetti lunghi 10 m in //  
sviluppo lineare pari a  $55 \times (10 \times 5) = 2750\text{ m}$

$$R_A = \frac{50}{I_d} = \frac{50}{30 \cdot 10^{-3}} = 1660\ \Omega$$

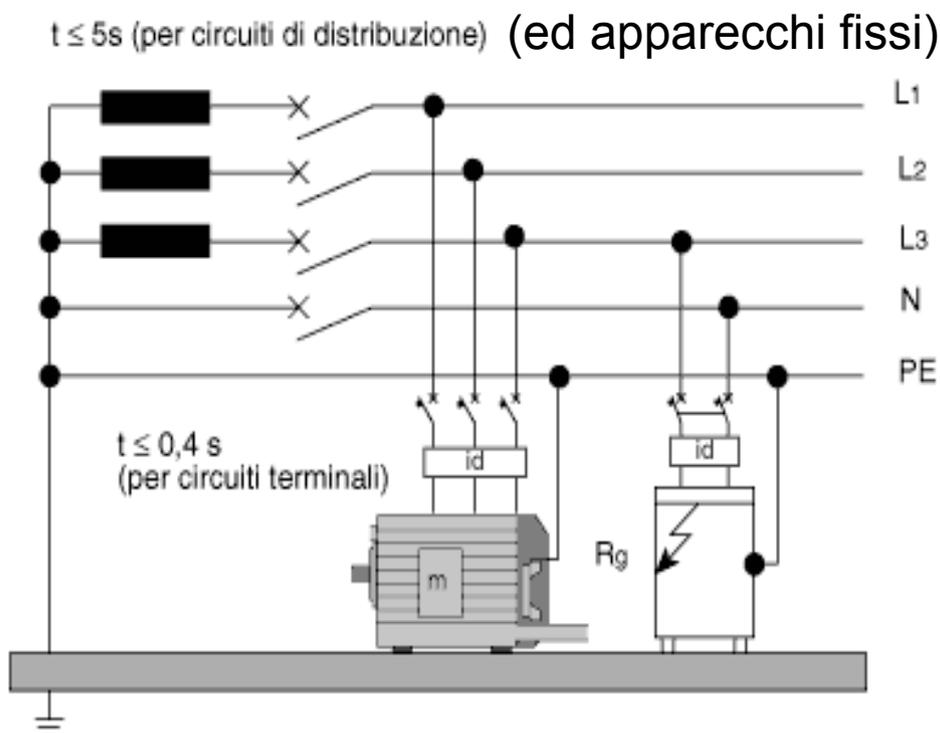
per  $L = 1,5\text{ m}$   $R_t = \frac{300}{1,5} = 200\ \Omega \ll 1660\ \Omega$



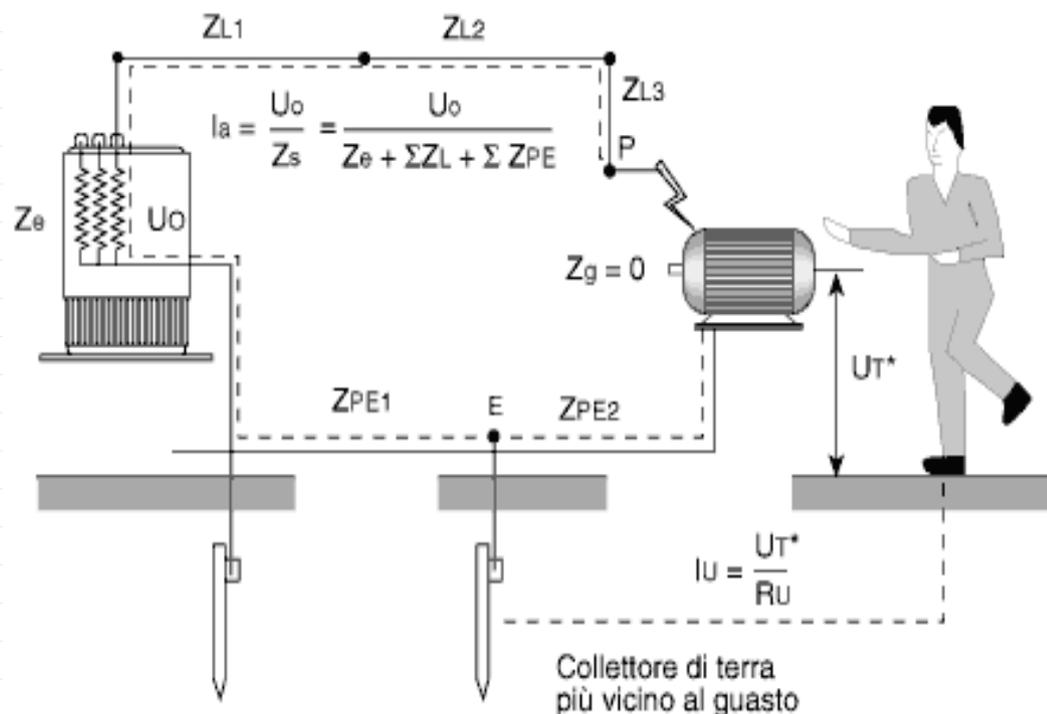
# Contatti indiretti: interruzione automatica

## Sistema TN

Tempi di intervento delle protezioni nei sistemi TN-S



Tensione totale di terra in un sistema TN



\*  $U_T = I_a Z_{PE2}$

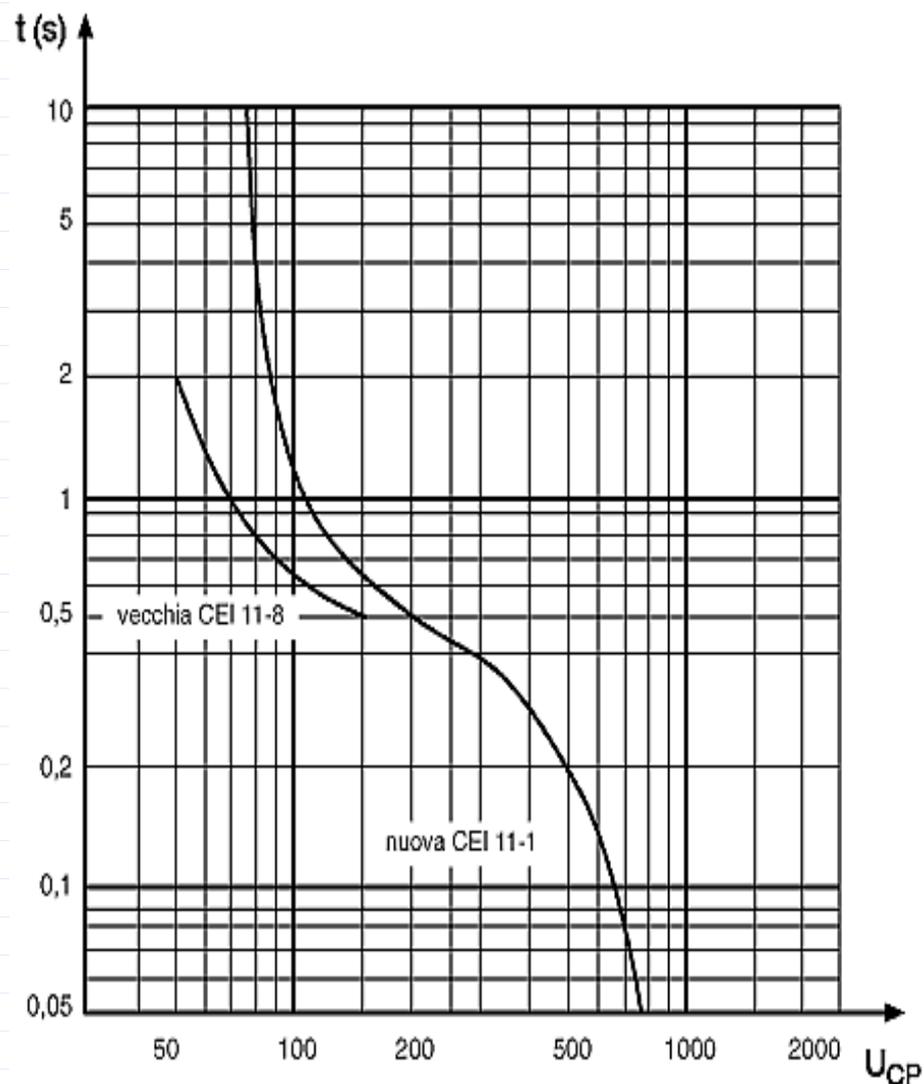
$$I_a \leq \frac{U_0}{Z_s}$$

dove la  $I_a$  è la corrente di intervento a 0,4 s (0,2 s) o a 5 s (in casi particolari di seguito illustarti).  
Se non è soddisfatta occorre utilizzare il differenziale

# Contatti indiretti: interruzione automatica

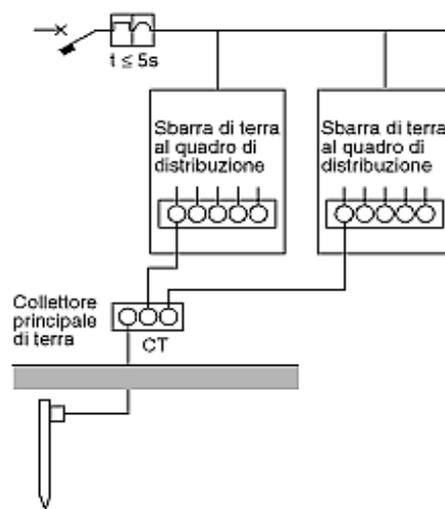
## Sistema TN

Valori della tensione di contatto e di passo massimi consentiti in funzione del tempo di interruzione del guasto a terra in MT

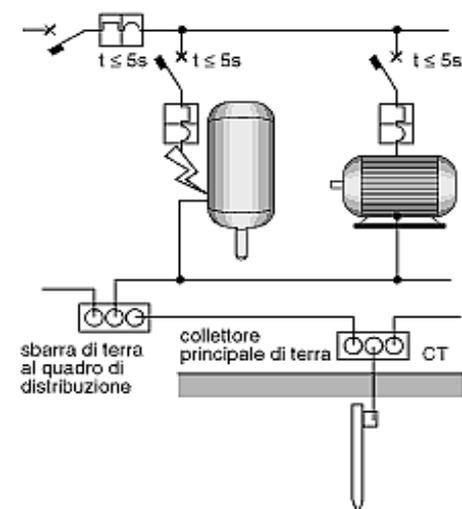


I casi che consentono l'interruzione del guasto a terra entro 5 s

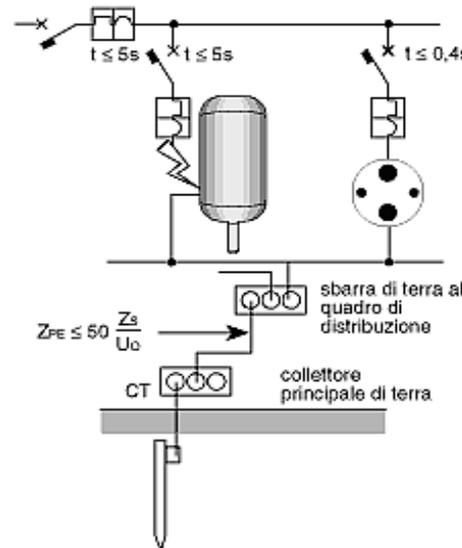
a) circuiti di distribuzione



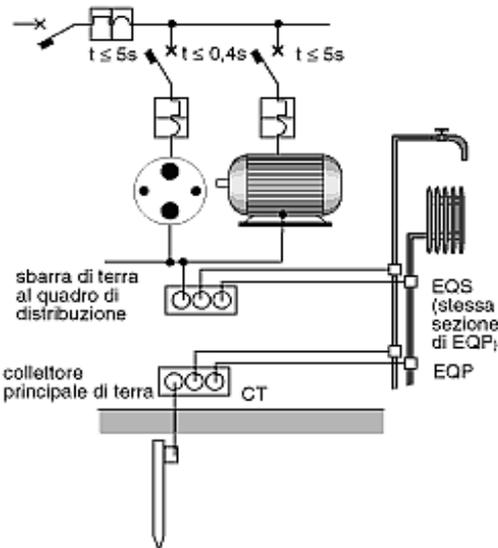
b) circuiti terminali quando tutti gli utilizzatori sono fissi



c) circuiti terminali con utilizzatori fissi e prese a spina quando collegati al quadro di distribuzione che soddisfa la relazione  $U_T \leq 50V$



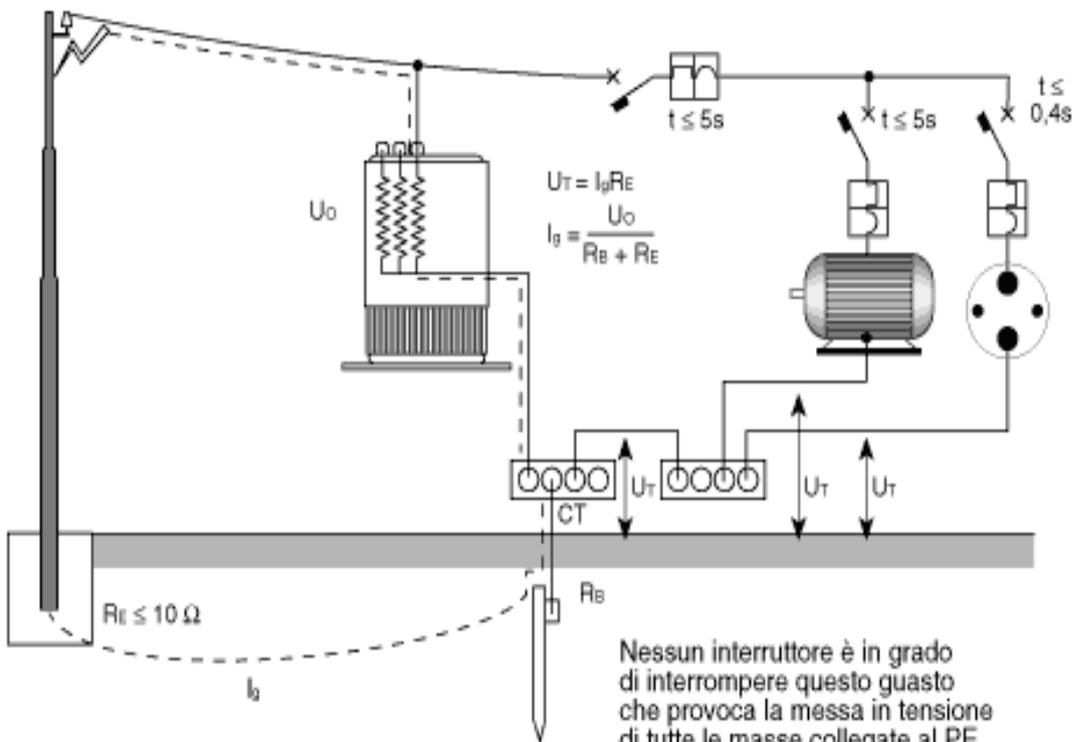
d) circuiti terminali con utilizzatori fissi e prese a spina quando si realizzano collegamenti equipotenziali supplementari



# Contatti indiretti: interruzione automatica

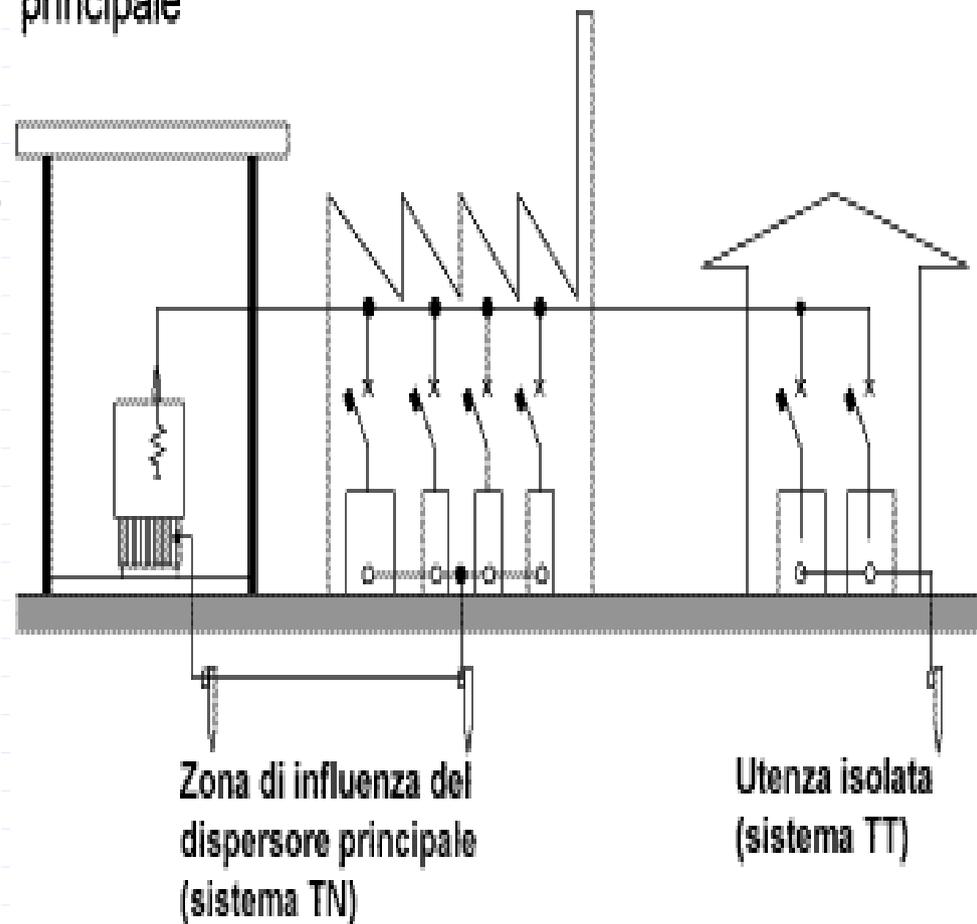
## Sistema TN

Guasto tra un conduttore di fase e la terra su una linea aerea esterna



Nessun interruttore è in grado di interrompere questo guasto che provoca la messa in tensione di tutte le masse collegate al PE del sistema TN.  
E' in questo caso indispensabile che  $R_T \leq 50 R_E / (U_0 - 50)$

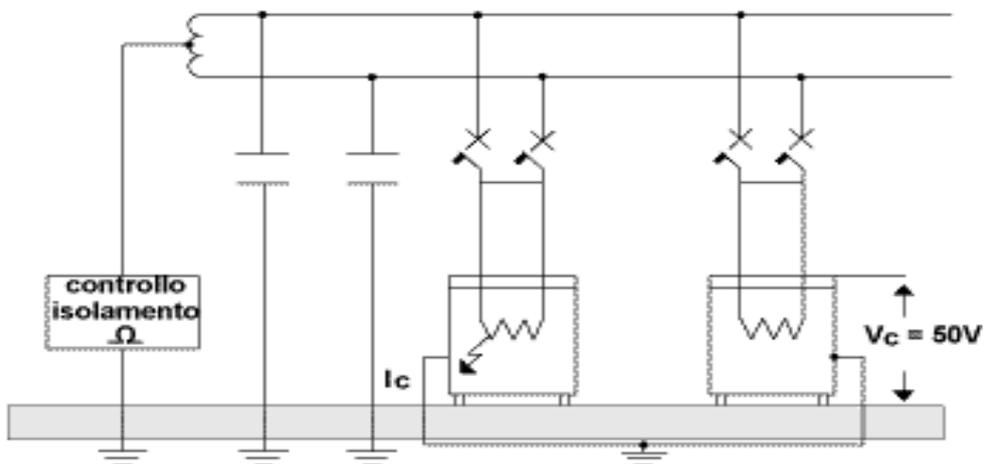
Possibilità di sistema misto TN-TT per circuiti fuori della zona di influenza del collegamento equipotenziale principale



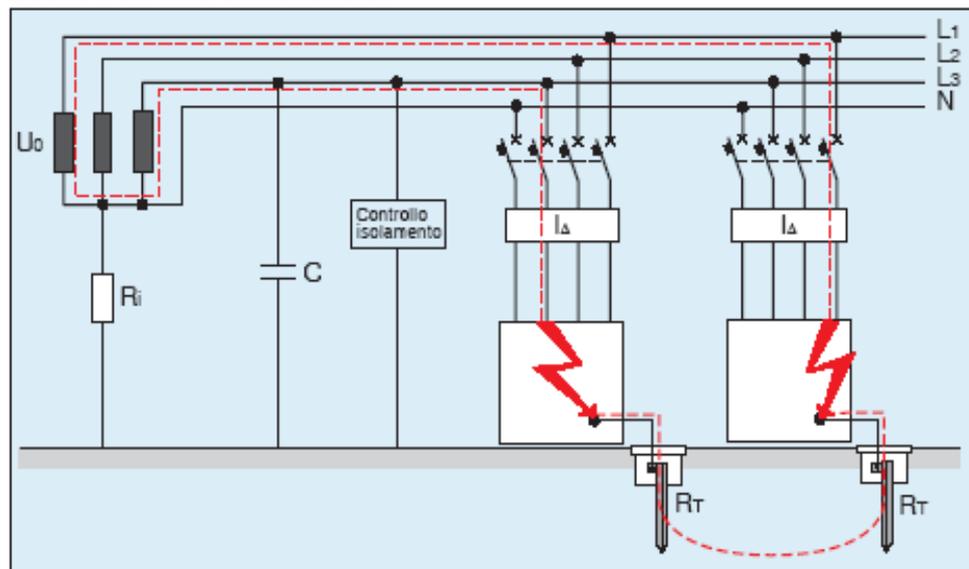
# Contatti indiretti: interruzione automatica

## Sistema IT

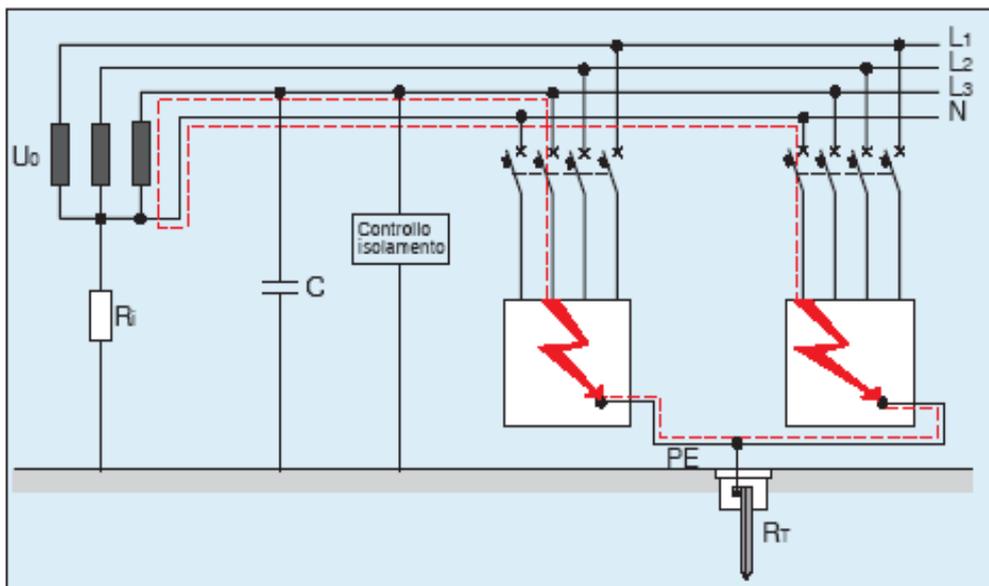
Chiusura della corrente di guasto nei sistemi IT attraverso la capacità verso terra dei conduttori



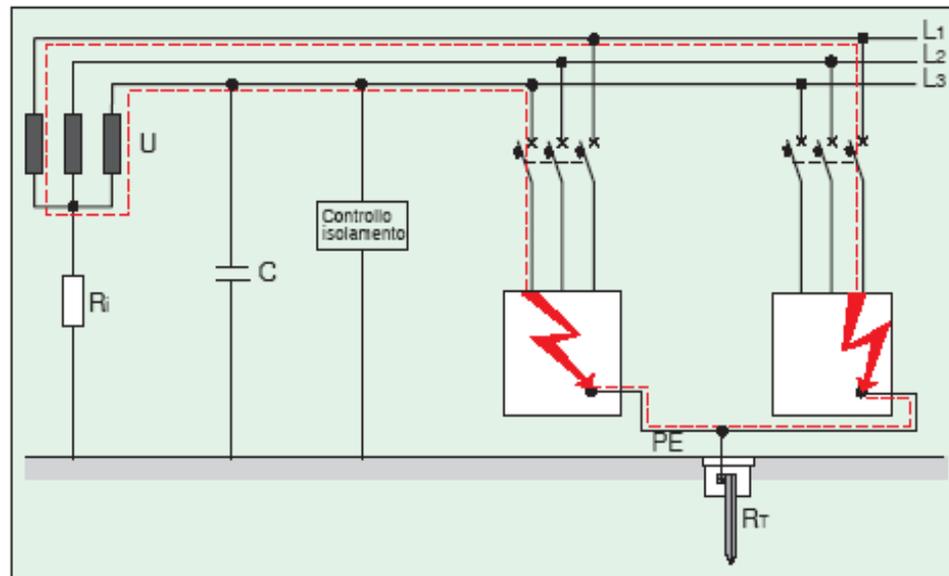
Sistema IT con messe a terra individuali



Sistema IT con neutro distribuito



Sistema IT con neutro non distribuito



# Contatti diretti ed indiretti: SELV e PELV

La norma CEI 64.8 individua due sistemi di distribuzione e le rispettive prescrizioni costruttive per garantire la **protezione contro i contatti diretti e indiretti**. I due sistemi sono denominati:

- ▶ a bassissima tensione di sicurezza (**SELV**);
- ▶ a bassissima tensione di protezione (**PELV**).

Inoltre se per ragioni funzionali si utilizzano bassissime tensioni, la norma prevede un sistema denominato a bassissima tensione funzionale (**FELV**).

I circuiti SELV e PELV devono essere alimentati:

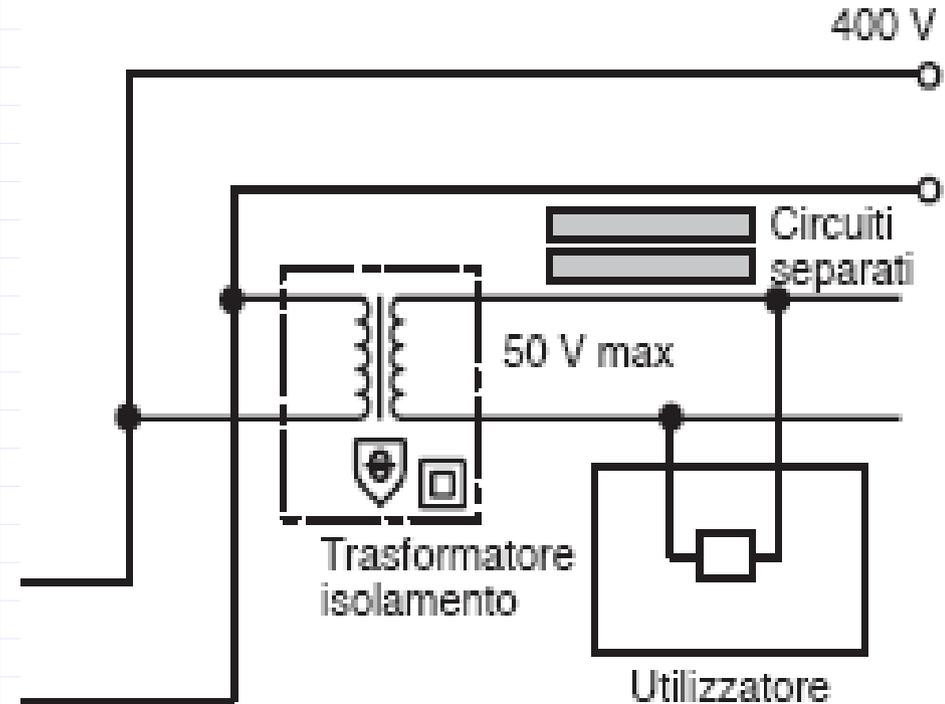
- ▶ con tensioni non superiori a 50 Vca e 120 Vcc non ondulata. In alcuni ambienti a maggior rischio la tensione di alimentazione deve essere ridotta a 25 Vca e 60 Vcc;
- ▶ da una delle seguenti sorgenti:
  - trasformatore di sicurezza (CEI 14.6),
  - da sorgente con grado di sicurezza equivalente,
  - da sorgenti elettrochimiche (batterie di accumulatori),
  - da dispositivi elettronici (gruppi statici).

Inoltre le parti attive devono essere protette contro i contatti diretti mediante involucro con grado di protezione non inferiore a IPXXB o isolamento in grado di sopportare una tensione di prova di 500 Veff. Per 1 minuto ( in ogni caso per PELV, solo se  $U_n > 25 \text{ Vca}$  o 60 Vcc per SELV).

# Contatti diretti ed indiretti: SELV e PELV

## SELV

Il sistema SELV garantisce un elevato livello di sicurezza verso il pericolo di contatti diretti e indiretti e per questo motivo viene impiegato in ambiente a maggior rischio come luoghi conduttori ristretti, luoghi con pareti conduttrici e luoghi con alto livello di umidità.



## Condizioni di installazione

- ▶ Masse non collegate né a terra né al conduttore di protezione o alle masse di altri circuiti elettrici;
- ▶ parti attive del circuito di alimentazione principale o di eventuali altri circuiti a bassissima tensione PELV o FELV devono essere separate dal circuito SELV mediante schermo o guaina per garantire un livello di sicurezza non inferiore a quello previsto per la sorgente di alimentazione;
- ▶ prese a spina senza contatto per il conduttore di protezione di tipo tale da non consentire l'introduzione di spine di altri sistemi elettrici;
- ▶ le spine non devono poter entrare nelle prese di altri sistemi elettrici.

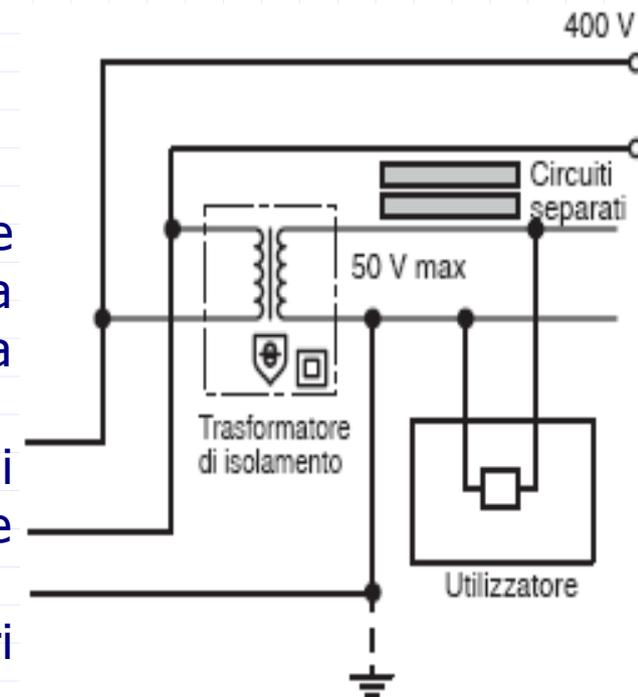
# Contatti diretti ed indiretti: SELV e PELV

## PELV

Per soddisfare i criteri di sicurezza e affidabilità dei circuiti di comando o per esigenze funzionali può essere necessario collegare a terra un punto del circuito attivo. In tal caso viene utilizzato il sistema PELV che garantisce un livello di sicurezza inferiore rispetto al sistema SELV in quanto non risulta completamente isolato dal sistema esterno. Un guasto verso terra del circuito primario potrebbe introdurre attraverso l'impianto di terra delle tensioni pericolose sulle masse del sistema PELV, tale rischio è accettabile per la presenza, sul circuito principale, dei dispositivi automatici atti alla protezione contro i contatti indiretti.

### Condizioni di installazione

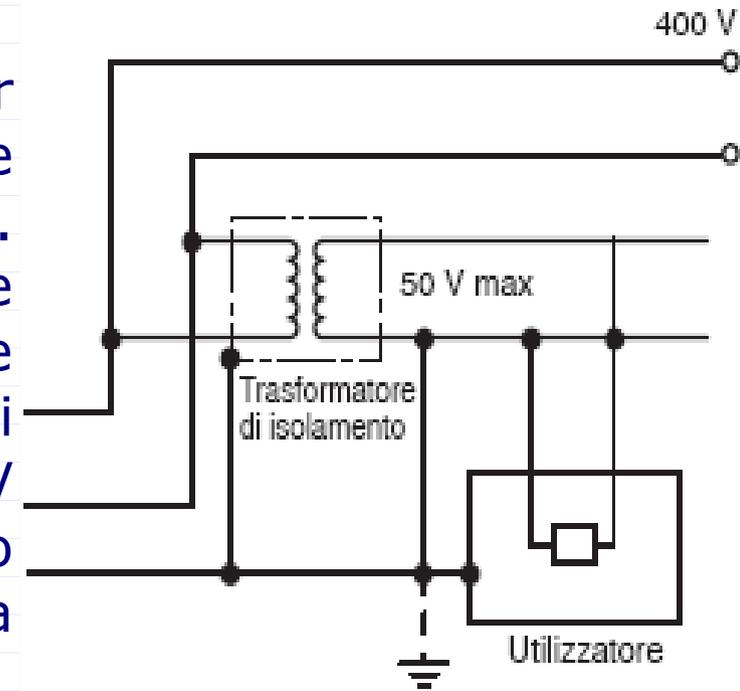
- ▶ Masse collegate a terra (non obbligatorio);
- ▶ parti attive del circuito di alimentazione principale separate dal circuito PELV mediante schermo o guaina atti a garantire un livello di sicurezza non inferiore a quello previsto per la sorgente di alimentazione;
- ▶ prese a spina con o senza contatti per il conduttore di protezione, di tipo tale da non consentire l'introduzione di spine di altri sistemi elettrici;
- ▶ le spine non devono poter entrare nelle prese di altri sistemi elettrici.



# Contatti diretti ed indiretti: SELV e PELV

## FELV

Il circuito FELV è un circuito alimentato, per ragioni funzionali, con un normale trasformatore con tensione secondaria non superiore a 50 V. Un guasto di isolamento tra primario e secondario del trasformatore può introdurre tensioni pericolose per le persone senza che i dispositivi a monte del circuito FELV intervengano. Il circuito FELV richiede l'utilizzo di dispositivi automatici di interruzione atti a garantire la protezione contro i contatti indiretti.



### Condizioni di installazione

- ▶ Masse obbligatoriamente collegate a terra;
- ▶ grado di isolamento dei componenti pari a quello del circuito primario;
- ▶ prese a spina con contatto per il conduttore di protezione, di tipo tale da non consentire l'introduzione delle spine del sistema FELV nelle prese alimentate con altre tensioni e da non consentire l'introduzione di spine di altri circuiti nelle prese del sistema FELV;
- ▶ coordinamento del circuito di protezione con il dispositivo automatico di interruzione previsto sul circuito principale per garantire la protezione contro i contatti indiretti.

# Contatti indiretti: omissione

La protezione contro i contatti indiretti può essere omessa per i casi seguenti:

- mensole per sostegno di isolatori di linee aeree se sono installate fuori dalla portata di mano;
- pali di cemento armato con armatura metallica non accessibile;
- masse (quali targhe, teste di viti etc.) con dimensioni toccabili approssimativamente  $< 25 \text{ cm}^2$  sistemate in modo tale da non poter essere afferrate quando il collegamento con il conduttore di protezione risulti difficoltoso e non affidabile.

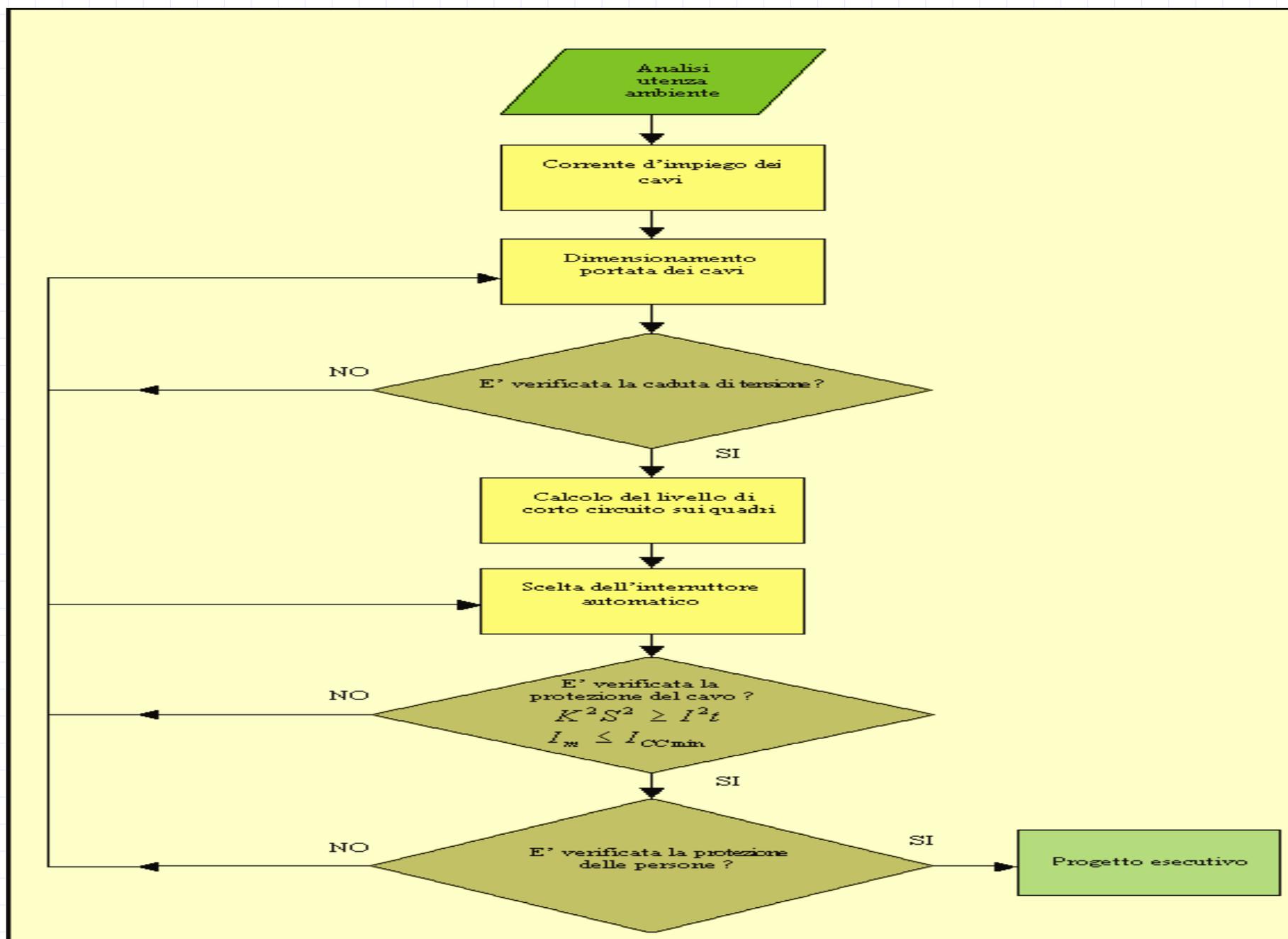
---

**NOTA Protezione mediante collegamento equipotenziale supplementare.** Quando nei sistemi TT, TN, IT protetti mediante messa a terra non possono essere soddisfatte (per qualche particolare caso) le condizioni di interruzione dell'alimentazione indicate ai paragrafi precedenti si deve realizzare nell'intero luogo interessato un collegamento equipotenziale supplementare di tutte le masse estranee. Nei sistemi TN, essendo le correnti di guasto di valore elevato, i collegamenti equipotenziali supplementari devono essere realizzati con le stesse sezioni minime previste per i collegamenti equipotenziali principali. In ogni caso deve esser soddisfatta la relazione,  $R < 50 / I_a$ , dove  $R$  è la resistenza del collegamento tra masse e masse estranee simultaneamente accessibili e  $I_a$  è la corrente di funzionamento entro 5 s del dispositivo di protezione contro le sovracorrenti.

# **Elementi di progettazione**

- Diagramma di flusso dimensionamento**
- Descrizione ed analisi utenza**
- Scelta dei cavi in funzione dell'ambiente**
- Scelta delle sezioni (c.d.t. massima)**
- Verifica delle portate**
- Scelta delle protezioni contro il sovrac.**
- Scelta delle protezioni contro i c.to c.ti**
- Protezioni contro i contatti indiretti**
- Coordinamento delle protezioni**

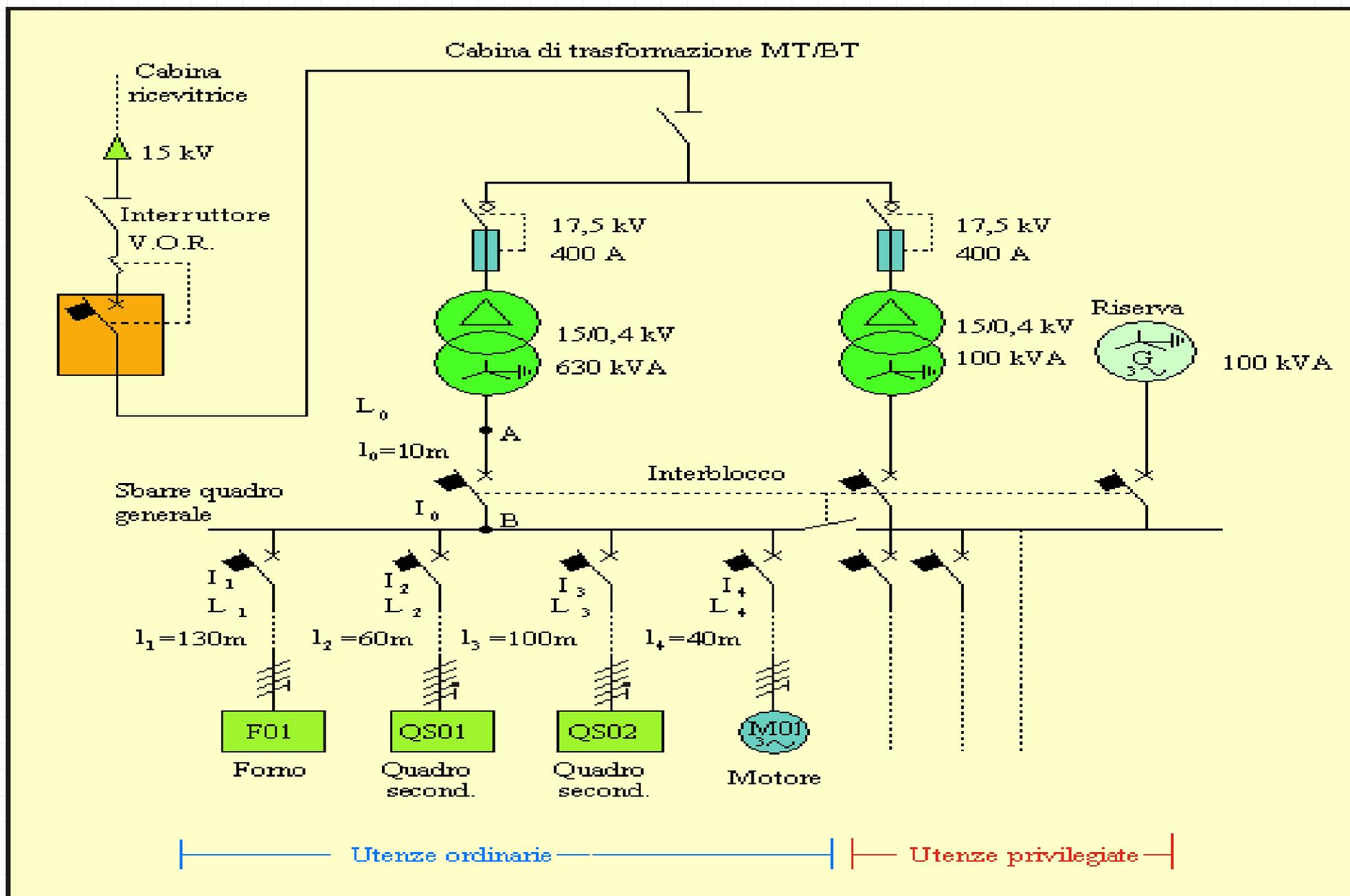
# Diagramma di flusso dimensionamento



# Descrizione ed analisi utenza

- ▶ Caratterizzazione dell'utenza
- ▶ Scelta dell'alimentazione
- ▶ Transitori di avviamento
- ▶ Fattore di potenza
- ▶ Potenza installata e potenza assorbita
- ▶ Calcolo della corrente di impiego
- ▶ Scelta del trasformatore
- ▶ Caratteristiche dell'alimentazione

# Schema unifilare (IMPORTANTISSIMO)



# Scelta dei cavi in funzione dell'ambiente

## ► **Analisi dell'ambiente di installazione**

- *Temperature (ambiente se diversa 30°C e minima)*
- *Presenza di umidità, flora, fauna, liquidi o vapori corrosivi*
- *Verificare se si tratta di un ambiente particolare*
- *Verificare se si tratta di un luogo classificato*

## ► **Tipo di posa e scelta dei cavi**

- *Posa in canalette, in passarella, in tubo sottotraccia, ecc.*
- *Tensione di esercizio*
- *Guaina, Armatura, Schermo*
- *Temperatura di esercizio e di posa*
- *Comportamento in caso di incendio (non propagazione della fiamma, non propagazione dell'incendio, resistenza al fuoco, ridotta emissione di gas tossici, ridotta emissione di gas corrosivi, ridotta emissione di fumi opachi)*
- *Flessibilità*
- *Costo*

# Scelta delle sezioni (c.d.t. massima)

# Verifica delle portate

# Scelta delle protezioni contro i sovrac.

# Scelta delle protezioni contro i c.to c.to

# Protezioni contro i contatti indiretti

# Coordinamento delle protezioni