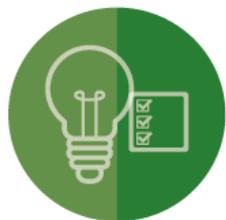


I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI **INGEGNERI**



CONVEGNO ON LINE
VENERDÌ 10 MARZO 2023, ORE 15.00 - 18.00

PROGETTAZIONE ELETTRICA IN SICUREZZA
Elementi di progettazione dell'impianto elettrico sicuro

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE

CONCETTI BASE

Relatore:

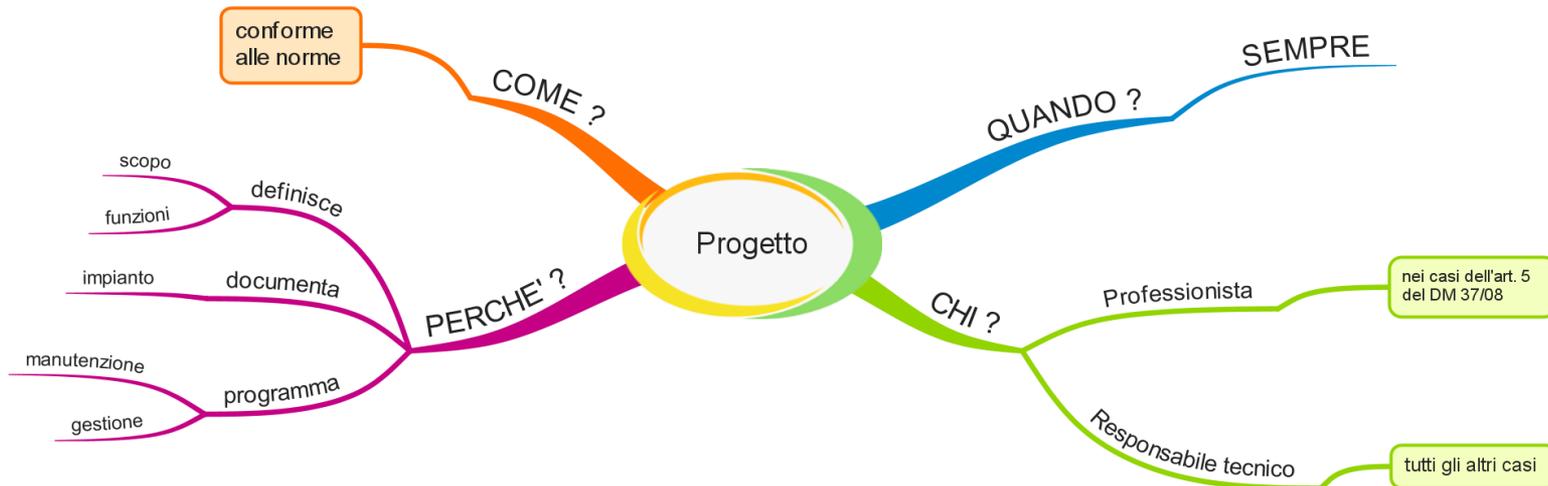
Edoardo LANCIONE ingegnere libero professionista

Il progetto

Il progetto è costituito da una serie di elaborati descrittivi, grafici e di calcolo che servono a descrivere l'impianto per consentirne la realizzazione e, successivamente, la manutenzione.

La guida CEI 0-2 di recente aggiornata ne definisce i contenuti e gli elementi certamente sempre presenti sono:

- Relazione tecnica descrittiva
- Schemi unifilari dei quadri elettrici
- Risultati delle verifiche del coordinamento delle protezioni
- Elaborati planimetrici per l'individuazione delle apparecchiature



I riferimenti

Nella redazione del progetto si dovrà tener conto della normativa di riferimento ed in particolare della norma fondamentale CEI 64-8 per la valutazione del rischio elettrico e delle misure di protezione oltre che per la scelta delle apparecchiature da utilizzare.



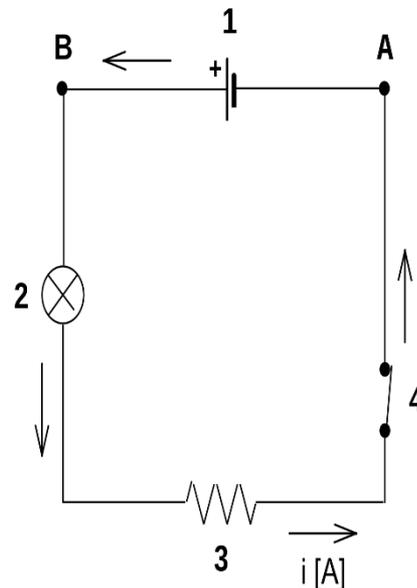
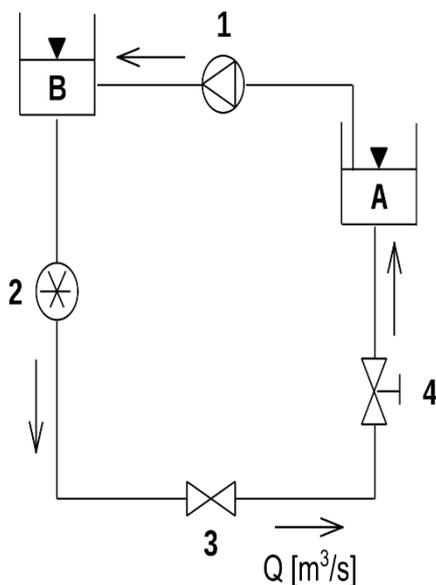
COMITATO
ELETTROTECNICO
ITALIANO



Concetti base

Definiamo le grandezze principali con cui opereremo usando l'analogia idraulica per dare un senso tangibile al fenomeno elettrico:

- La tensione elettrica, espressa in volt (V), è equivalente alla pressione che preme il fluido



La differenza di potenziale elettrico tra i due punti *A* e *B* del circuito elettrico è analoga alla differenza di pressione tra i due punti *A* e *B* del circuito idraulico corrispondente. Sono presenti i seguenti elementi:

- 1) pompa idraulica / generatore di tensione;
- 2) turbina / lampadina;
- 3) valvola di laminazione / resistore;
- 4) valvola di chiusura / interruttore.



Concetti base

- La corrente elettrica, espressa in ampere (A), è equivalente alla portata del fluido che si muove nel circuito
- La resistenza elettrica, espressa in ohm (Ω), è equivalente all'effetto degli ostacoli al libero fluire del liquido

Le tre grandezze fondamentali sono in relazione fra di loro secondo la legge di Ohm:

$$V = R \cdot I$$

La corrente che transita su un elemento resistivo genera una dissipazione di potenza P che si esprime con la relazione:

$$P = V \cdot I = R \cdot I^2$$



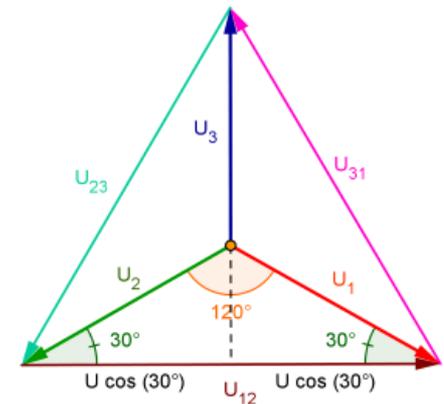
Concetti base

La potenza elettrica si esprime in watt (W).

Il lavoro compiuto da una certa potenza elettrica per un determinato tempo è definito dall'energia, espressa in wattora (Wh).

L'energia elettrica viene trasportata dal distributore su un sistema trifase in cui tre tensioni sfasate fra di loro di 120° vengono trasportate su tre o quattro conduttori fino agli utilizzatori che possono utilizzare sia tutte e tre le fasi (utilizzatore trifase) sia una sola (utilizzatore monofase).

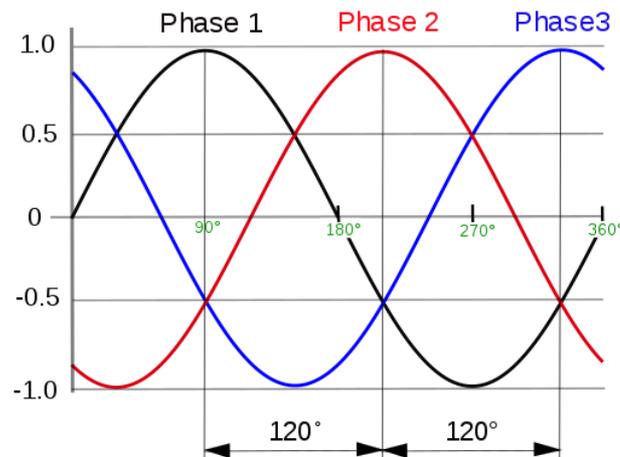
Per gli utenti monofase in bassa tensione il riferimento sono le tensioni stellate (U_1, U_2, U_3) pari a 230V.



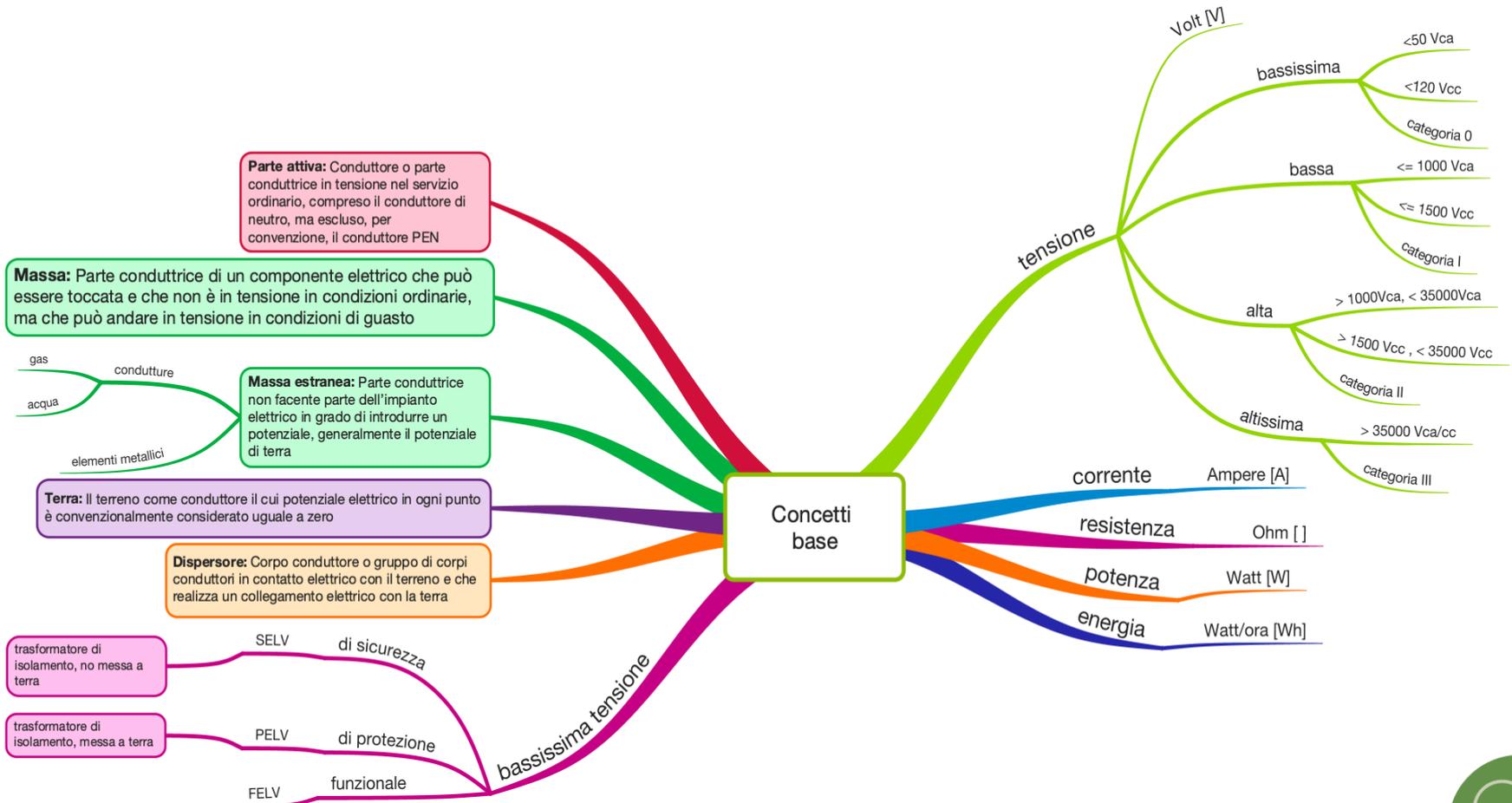
Concetti base

Per gli utenti trifase in bassa tensione il riferimento sono le tensioni concatenate (U_{12} , U_{23} , U_{31}), pari a 400V.

Se gli sfasamenti sono diversi da 120° il sistema si dice *squilibrato*, ciò può accadere su sistemi trifase con carichi monofase con assorbimenti molto diversi fra di loro; in caso contrario il sistema è equilibrato.



Concetti base



Concetti base: classificazione della tensione

In funzione della tensione nominale si definisce la categoria del sistema elettrico in:

- Bassissima tensione,
- Bassa tensione
- Alta tensione
- Altissima tensione

Dal punto di vista normativo è stato abolito il termine *media tensione* che persiste nell'uso gergale per indicare i sistemi che operano a tensioni superiori a 1000V fino a 35 kV



Concetti base: corrente di corto

Si definisce corrente di cortocircuito in un punto (I_{cc}) la massima corrente che può transitare appunto nel caso avvenga un corto circuito.

Nella scelta delle apparecchiature se ne dovrà tenere conto selezionando dispositivi con potere di interruzione (P_{di}) non inferiore alla corrente di corto circuito

Se i quadri elettrici sono accessibili a solo personale esperto si terrà conto del valore I_{cs} con riferimento alla norma CEI EN 60947

Viceversa se saranno accessibili a persone comuni si impiegheranno apparecchiature conformi alla CEI EN 60898 e quindi il parametro da verificare sarà I_{cu}

In valore di I_{cu} sarà normalmente minore di quello di I_{cs} a maggior garanzia della sicurezza di chi opera sui quadri

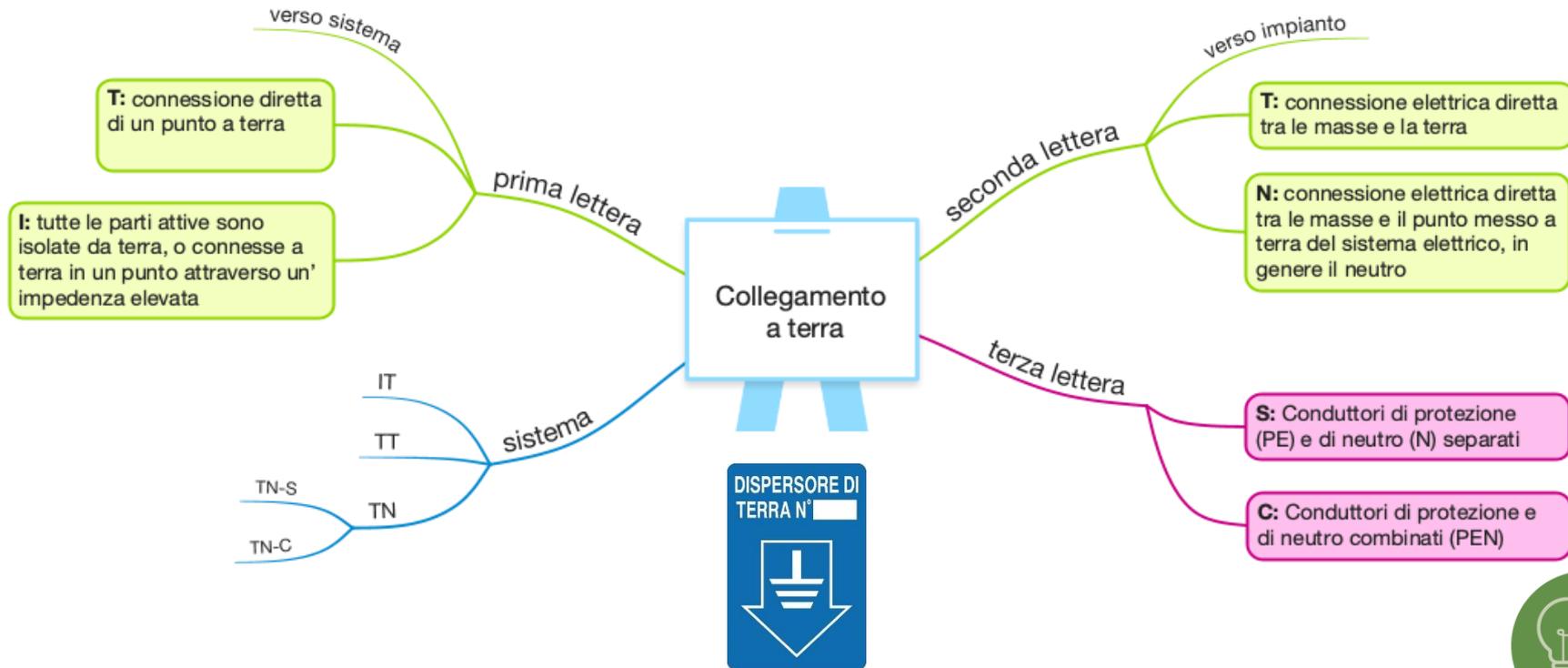
La corrente di corto circuito si riduce avanzando lungo la linea elettrica per cui la I_{cc} a valle della linea è sempre inferiore a quella immediatamente a valle della protezione



Concetti base : sistema di terra

Un ultimo concetto riguarda la definizione del sistema di messa a terra adottato che, come vedremo, ha importanti ricadute sulla scelta delle protezioni.

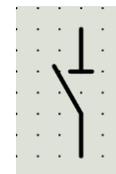
La classificazione è fatta utilizzando due sole lettere in base al collegamento sia dal lato distributore sia dal lato utente.



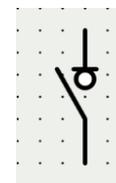
Concetti base : i dispositivi di sezionamento

Per il sezionamento dei circuiti, ovvero la messa fuori tensione, si utilizzano dispositivi non automatici detti appunto sezionatori che possono essere:

- Di manovra: se possono essere utilizzati solo per interrompere un circuito in cui non c'è attraversamento di corrente, ad esempio perché i dispositivi di protezione a valle sono già tutti aperti



- Sotto carico: se possono essere utilizzati per aprire un circuito con carico attivo



Si raccomanda di non utilizzare mai un sezionatore di manovra dove potrebbe essere necessario aprire un carico attivo in quanto la costruzione non garantisce la sicurezza dell'operatore

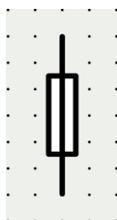


Concetti base : i dispositivi di protezione

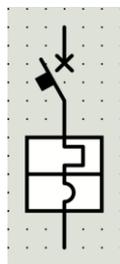
Per la protezione dei circuiti si possono utilizzare fusibili o interruttori automatici

L'utilizzo dei fusibili può porre talvolta ritardo nel riarmo, ad esempio se non si dispone di una scorta, per questo in genere si preferisce adottare interruttori automatici che possono essere ad intervento termico, magnetico, differenziale o una loro combinazione

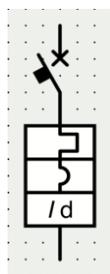
I dispositivi di uso più comune sono gli interruttori automatici magnetotermici e magnetotermici differenziali



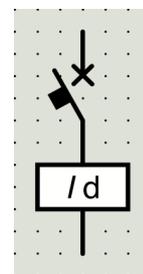
fusibile



Interruttore
magnetotermico



Interruttore
magnetotermico
differenziale



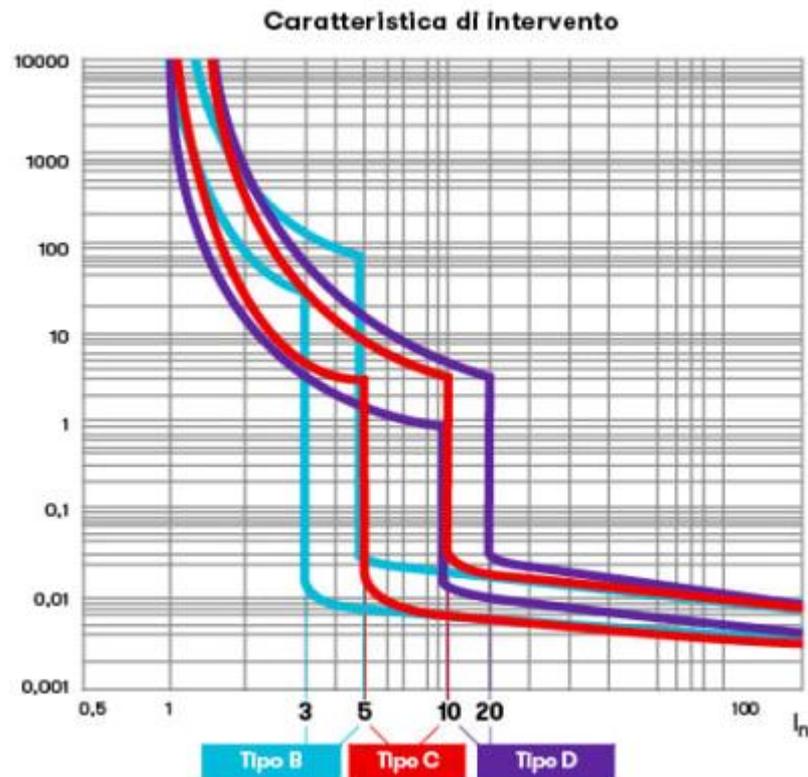
Interruttore
differenziale puro



Concetti base : i dispositivi di protezione

Gli interruttori magnetotermici di tipo modulare operano secondo curve di intervento standardizzate B, C, D che, come evidenziato nelle curve riportate, si differenziano in primo luogo per la soglia di intervento magnetica, corrispondente all'intervento rapido

Per gli interruttori industriali sono previste dalla norma EN 60947-2 anche le curve Z, AM e K



Intervallo di intervento:
Curva B: 3-5 I_n – protezione delle persone e linee lunghe

Curva C: 5-10 I_n – protezione di carichi generici

Curva D: 10-20 I_n – protezione di motori



Concetti base: selettività

La protezione selettiva di un circuito elettrico consiste nella possibilità di sezionare la parte di impianto affetta da guasto senza disalimentare le altre aree funzionanti dell'impianto.

Le tecniche comunemente utilizzate sono:

Selettività amperometrica si utilizza quando le correnti di cortocircuito sono molto diverse da loro

Le protezioni vengono scelte in maniera scalare: quelle più a monte con correnti più elevate, mentre quelle più a valle con correnti inferiori, in modo da dare una certa "gerarchia" al sistema di protezione

Selettività cronometrica si utilizza quando le correnti di cortocircuito sono simili tra loro

Le protezioni vengono tarate scalarmente: quelle più a monte con un tempo di intervento più alto, mentre quelle più a valle con un tempo di intervento più breve, con lo stesso scopo della selettività amperometrica



Il rischio elettrico

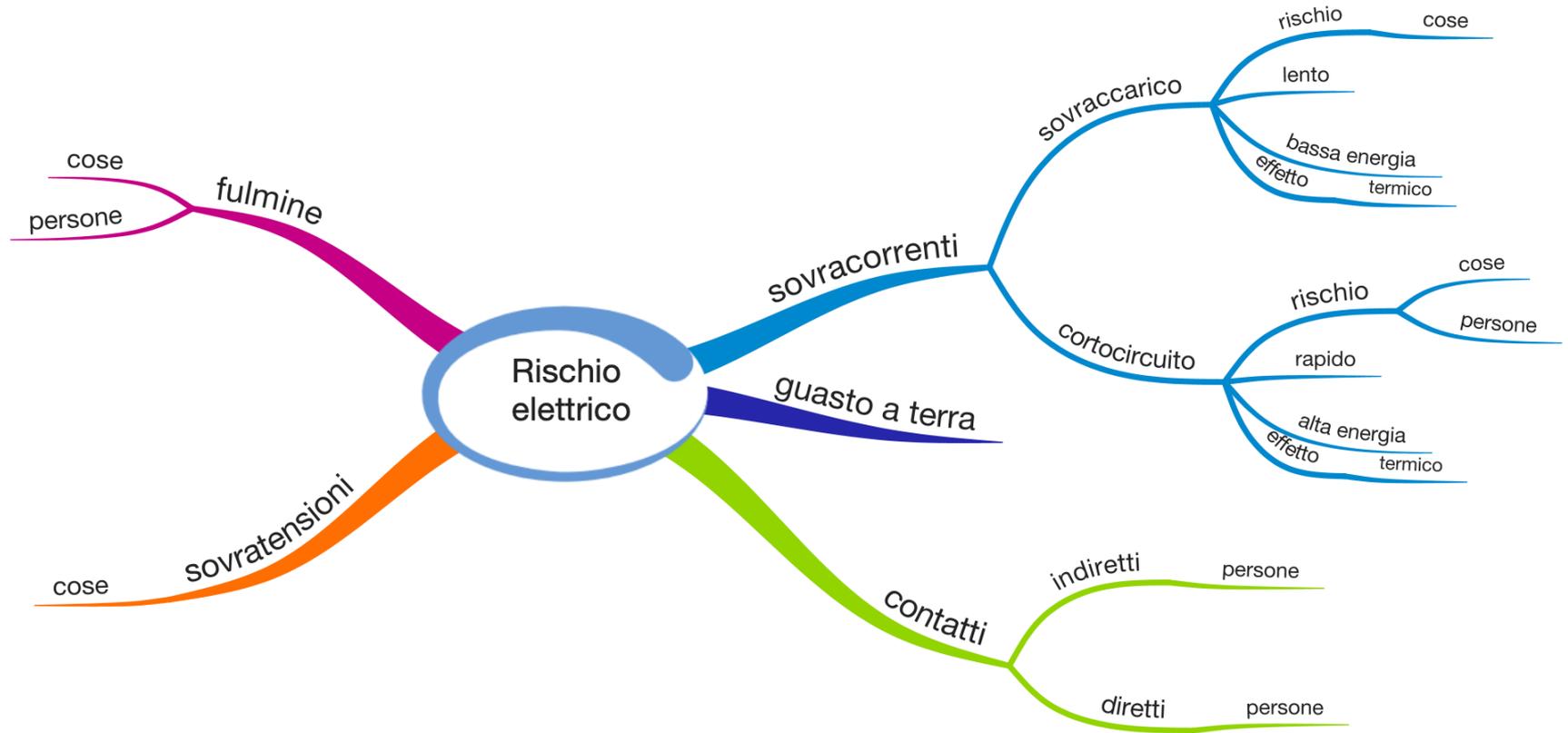
L'obiettivo principale del progettista è quello di individuare le soluzioni tecniche che permettono di limitare i rischi, sia diretti sia secondari, che possono derivare dall'impiego dell'energia elettrica.

I rischi secondari si possono esemplificare nell'innesco di incendi o di esplosioni.

E' quindi necessario comprendere le cause del rischio elettrico.



Il rischio elettrico



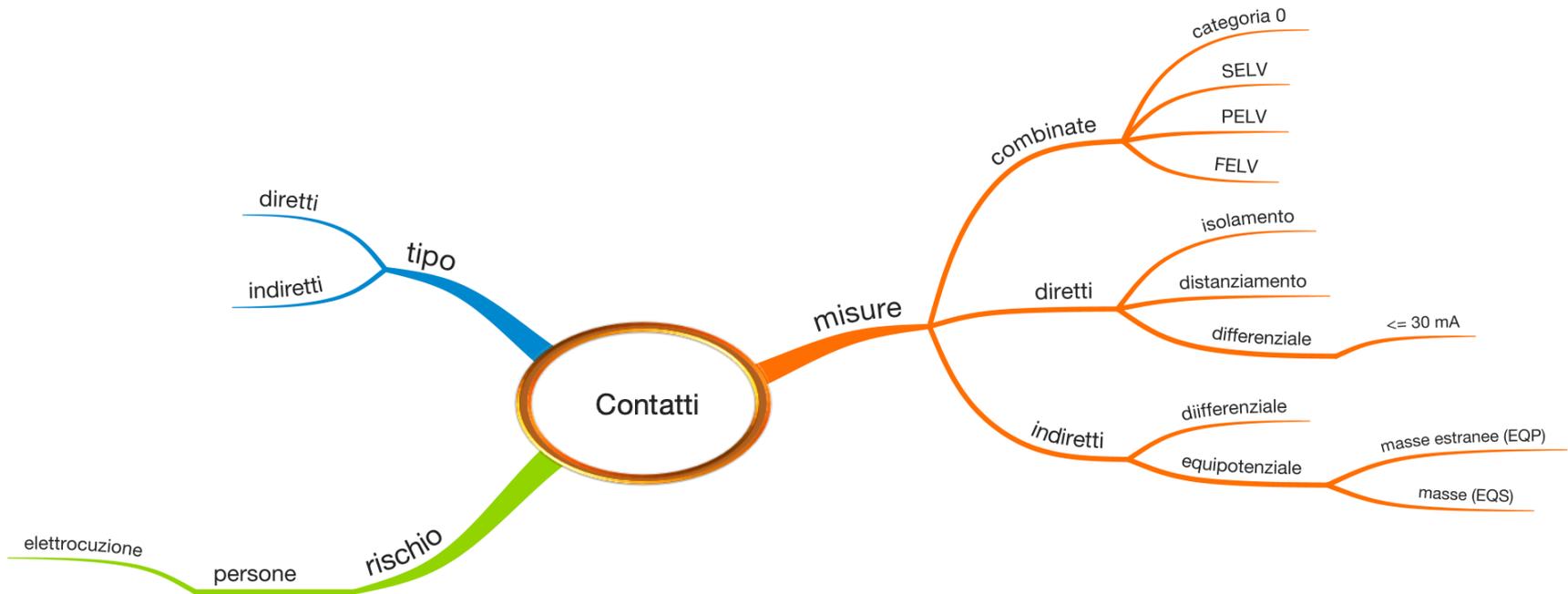
Il rischio elettrico

Si individua quindi il rischio di venire a contatto con parti metalliche che possono essere in tensione sia nelle condizioni ordinarie (contatti diretti) sia a seguito di un guasto (contatti indiretti).

In entrambi i casi il potenziale danno si verifica sulle persone che vengono accidentalmente a contatto con la tensione e può essere anche mortale.



Il rischio elettrico



Il rischio e le misure previste contro i contatti



Il rischio elettrico: Protezione dai contatti

Protezione dai contatti indiretti

La protezione dai contatti viene realizzata con la limitazione della tensione a cui può venire a contatto la persona, definendo un parametro chiamato tensione limite di contatto convenzionale (U_L) definito pari a 50 V per la generalità degli impianti e pari a 25 V per ambienti particolari (luoghi medici, ecc.)

La condizione da rispettare con il sistema di messa a terra TT è data dalla formula seguente:

$$R_T \leq U_L / I_a$$

Dove:

- R_T è la resistenza del dispersore di terra
- U_L è la tensione limite di contatto
- I_a è la corrente che provoca l'intervento istantaneo del dispositivo di protezione



Il rischio elettrico: Protezione dai contatti

Utilizzando interruttori magnetotermici I_a corrisponde alla soglia di intervento magnetica mentre con interruttori differenziali si utilizza la soglia differenziale I_d

Con il sistema TN, invece, la formula diventa la seguente:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0$$

Dove:

- Z_s è l'impedenza dell'anello di guasto
- U_0 è la tensione nominale verso terra
- I_a è la corrente che provoca l'intervento del dispositivo di protezione entro un tempo massimo di 5 s per dispositivi con I_n maggiore di 32A



Il rischio elettrico: Protezione dai contatti

Con il sistema IT, utilizzato in applicazioni critiche dove l'apertura dei circuiti può creare problemi (ad es. sale operatorie) e per cui al primo guasto non intervengono le protezioni ma si attiva un sistema di allarme perché si intervenga prima che si presenti il secondo guasto, la formula diventa:

$$R_E \cdot I_d \leq U_L$$

Dove:

- R_E è la resistenza del dispersore di terra
- I_d è la corrente di guasto del primo guasto a terra di impedenza trascurabile

La condizione di sicurezza per il secondo guasto, invece, è:

$$2I_a \cdot Z_s \leq U$$

Dove:

- U è la tensione tra i conduttori di fase
- Z è l'impedenza dell'anello di guasto
- I_d è la corrente che provoca l'intervento della protezione



Il rischio elettrico

La seconda categoria di rischio è costituita dalle sovracorrenti ovvero da correnti di entità maggiore di quanto prevedibile a causa di un guasto.

Le sovracorrenti possono essere fenomeni sia lenti che rapidi.

Nel primo caso si parla di sovraccarichi e l'effetto tipico è il surriscaldamento dei cavi e delle apparecchiature con conseguente rammollimento delle parti plastiche anche fino a scoprire i conduttori.



Il rischio elettrico

I conduttori così scoperti possono venire a contatto originando un cortocircuito che, a secondo dei conduttori coinvolti sarà di tipo fase-fase, fase-neutro o fase-terra.

Il cortocircuito è un fenomeno che coinvolge in un tempo molto breve una grande quantità di energia e pertanto ha un effetto dirompente.



Il rischio elettrico: protezione dalle sovracorrenti

Protezione dalle sovracorrenti

Rispetto al rischio sovracorrenti, per ciascuna utenza sceglieremo dispositivi di protezione con corrente nominale I_n rispettando le seguenti relazioni:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_Z$$

Dove:

- I_b è la corrente di impiego del circuito
- I_n è la corrente nominale del dispositivo di protezione
- I_z è la corrente sopportabile dalla conduttura in regime permanente (portata)
- I_f è la corrente di funzionamento del dispositivo

Il valore di I_z è desumibile da specifiche tabelle unificate UNEL che tengono conto anche delle condizioni di posa

Le tabelle possono essere recuperate anche dai siti internet dei principali costruttori



Il rischio elettrico: protezione dal cortocircuito

Protezione dal cortocircuito

All'accadimento di un cortocircuito si ha un rapido passaggio di energia attraverso il punto di contatto che si quantifica come il quadrato della corrente di cortocircuito per il tempo in cui l'interruttore lascia transitare tale corrente

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

Dove:

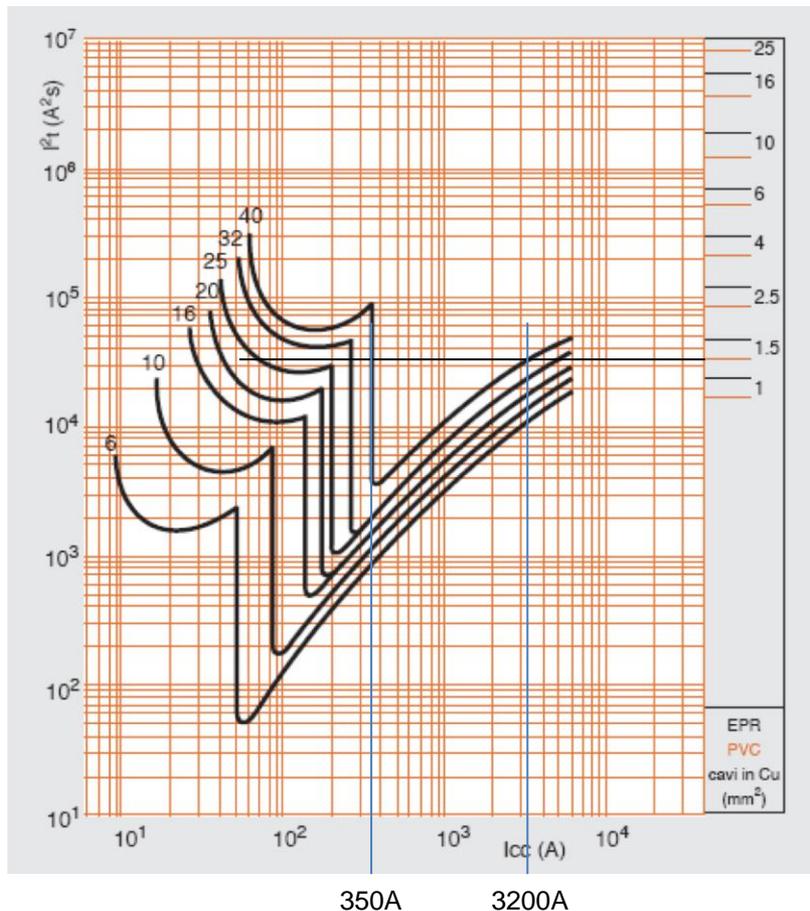
- I è la corrente di cortocircuito
- t è il tempo occorrente per l'apertura dell'interruttore
- S è la sezione in mmq della conduttura
- K è una costante che dipende dal materiale isolante del cavo come di seguito specificato
 - Cavo in rame isolato in pvc K = 115
 - Cavo in rame isolato in gomma G K = 135
 - Cavo in rame isolato in gomma G5-G7 K = 143
 - Cavo in rame serie L nudo K = 200
 - Cavo in alluminio isolato in pvc K = 74
 - Cavo in alluminio isolato in gomma G, G5-G7 K = 87



Il rischio elettrico: protezione dal cortocircuito

Protezione dal cortocircuito

I costruttori degli apparecchi mettono a disposizione nei loro cataloghi tecnici le curve dell'energia specifica passante dove, incrociando il dato relativo ai cavi si può verificare l'intervallo in cui il cavo è protetto



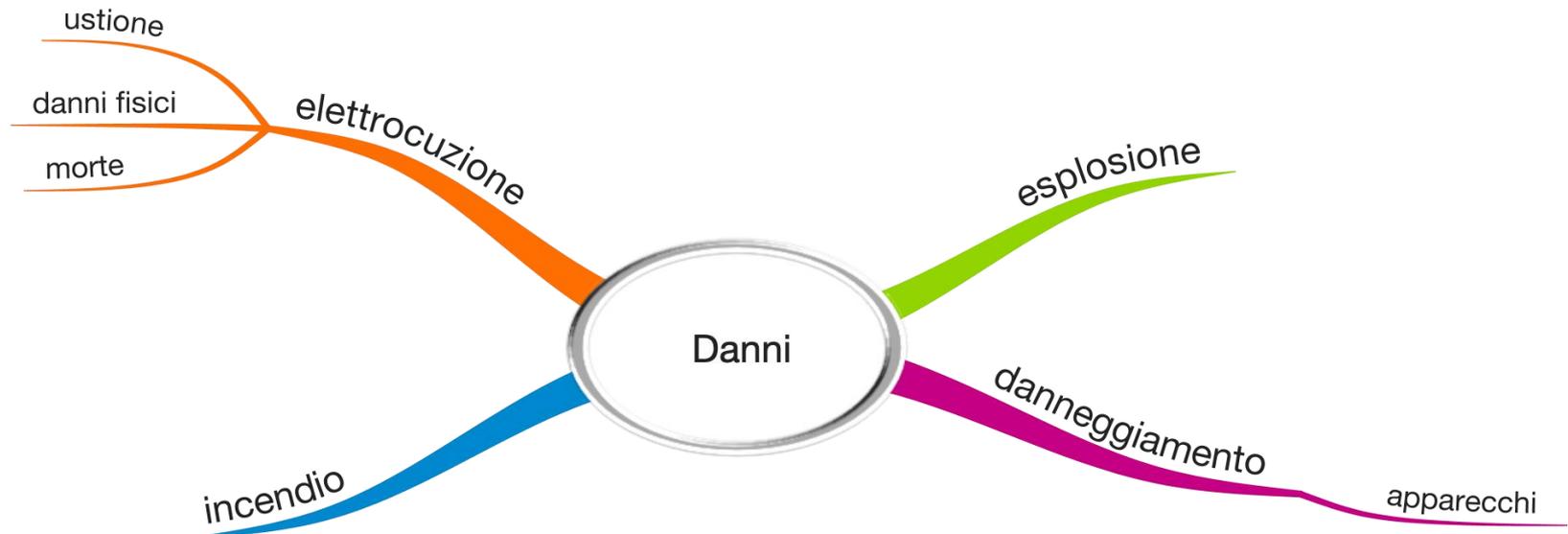
Es. dispositivo con $I_n = 40A$
Cavo da 1,5 mmq in EPR
Utilizzabile con I_{cc} compresa
tra 350A e 3200A



Il rischio elettrico

L'ultimo rischio che prendiamo in considerazione è legato alle sovratensioni che possono essere anche loro ad alta o a bassa energia, a seconda che si originano dalla caduta di un fulmine o dall'apertura di un circuito.

A seconda della tipo e della intensità si possono avere danni di tipo ed entità diversa.



Elementi di progettazione

La progettazione dell'impianto elettrico dovrà essere realizzata tenendo conto delle seguenti fasi:

- Valutazione delle esigenze del committente
- Valutazione dello stato dei luoghi
- Valutazione del rischio elettrico

Le esigenze del committente normalmente sono quelle di alimentare i propri macchinari nella maniera più economica possibile



Elementi di progettazione

Con la pubblicazione dell'ultima edizione della norma CEI 64-8 l'accezione economico ha assunto un significato nuovo in quanto la parte 8-1: «Efficienza energetica degli impianti elettrici» ha esteso la valutazione al costo di gestione degli impianti nella loro vita utile.

Come vedremo, talvolta, alcune scelte con un modesto investimento iniziale possono comportare un notevole risparmio nel tempo.



Elementi di progettazione

Per valutare le esigenze del committente occorre per prima cosa definire il punto di inizio dell'impianto e la posizione del quadro generale e quindi caratterizzare i carichi.

Ciò significa che per ogni utenza occorre raccogliere le seguenti informazioni:

- punto di alimentazione
- tipologia
- potenza
- $\cos \varphi$
- utilizzo e contemporaneità
- criticità, sensibilità



Elementi di progettazione

Conoscere il punto di alimentazione di una macchina ci permette di identificare la soluzione ottimale per arrivarci con i cavi di alimentazione.

Come esempio si potrebbe citare il caso dell'alimentazione dall'alto di una macchina che però ha tutte le morsettiere predisposte in basso.

Conoscere la tipologia dell'utenza, ad esempio una linea di illuminazione piuttosto che un motore, ci consente di scegliere il dispositivo di protezione più idoneo evitando che si verifichino sganci intempestivi, ad esempio per uno spunto non considerato.



Elementi di progettazione

La potenza ed il $\cos \varphi$ sono i dati di cui bisogna disporre in ogni caso per affrontare la fase di calcolo.

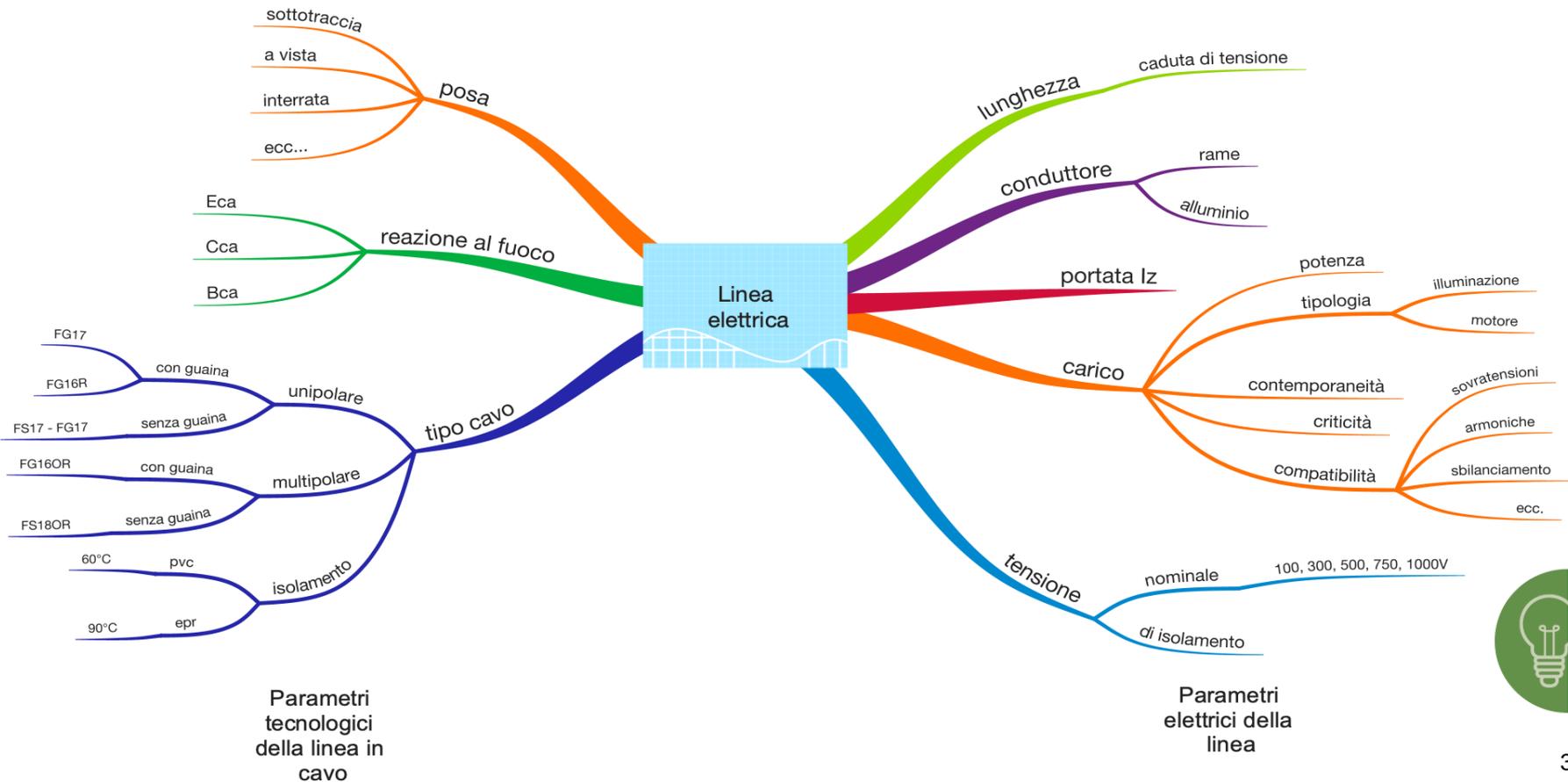
Facendo una buona intervista al committente si può approfondire il ciclo operativo per definire quali sono le utenze che sono operative sempre e quelle che intervengono solo in determinate fasi, ad esempio la rifinitura finale.

In ultimo, sarebbe bene sapere se le utenze presentano delle criticità o delle modalità di funzionamento particolari (ad esempio macchina con inverter o sistemi di frenatura elettrica piuttosto che apparecchiature informatiche).



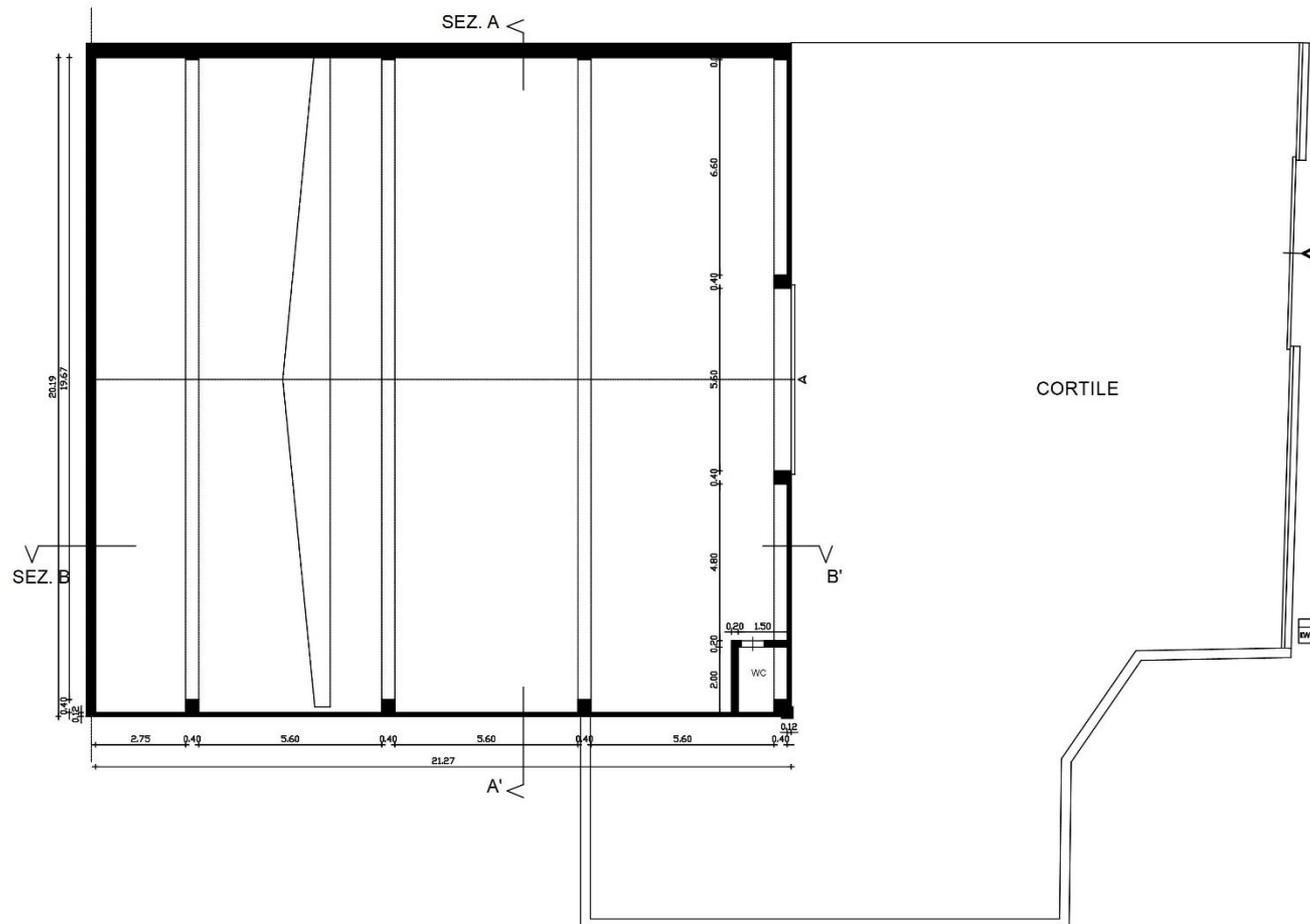
Elementi di progettazione

Definite le caratteristiche del carico, si può identificare sulla planimetria il percorso dei cavi ed il tipo di posa, in modo da calcolare anche la lunghezza della linea elettrica.



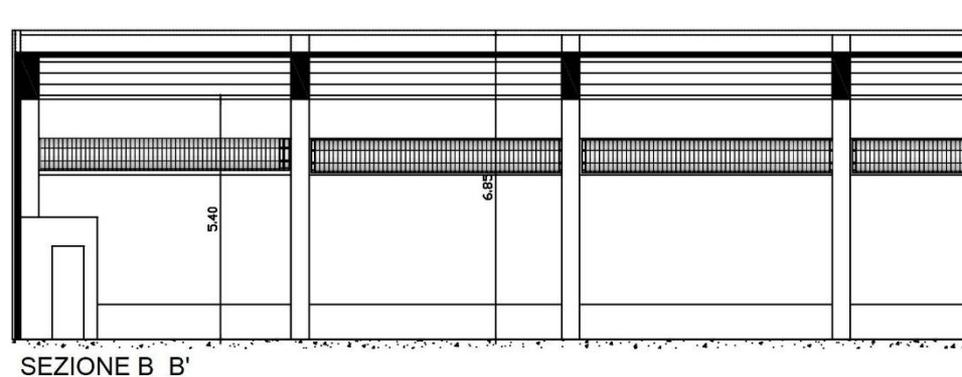
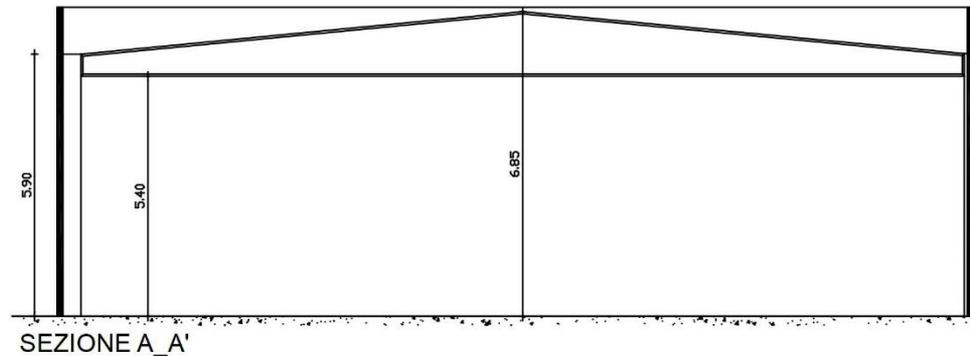
Esempio di progettazione

Definiti gli elementi principali, entriamo nello specifico analizzando un caso pratico di progettazione dell'impianto elettrico di un capannone artigianale di falegnameria.

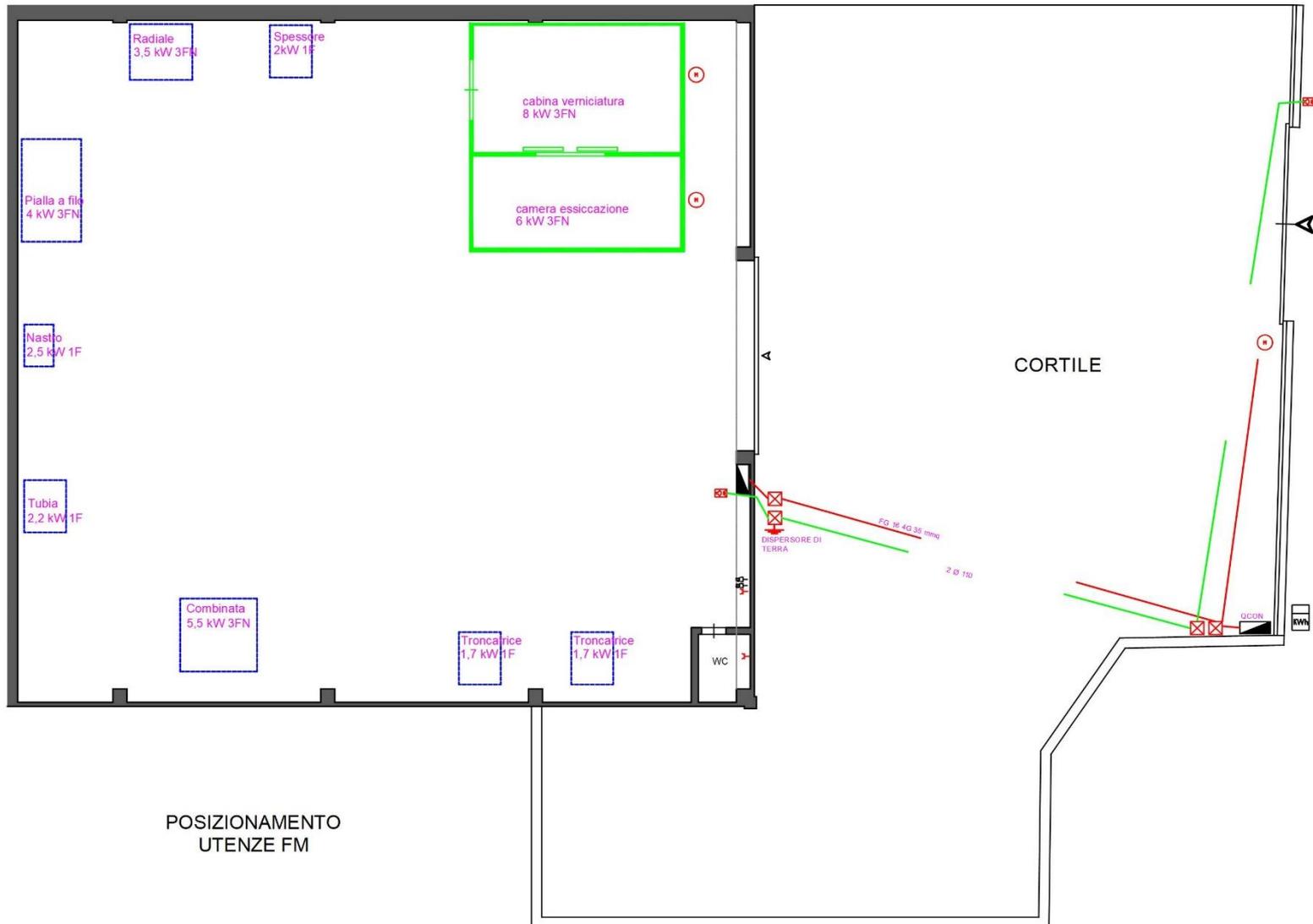


Esempio di progettazione

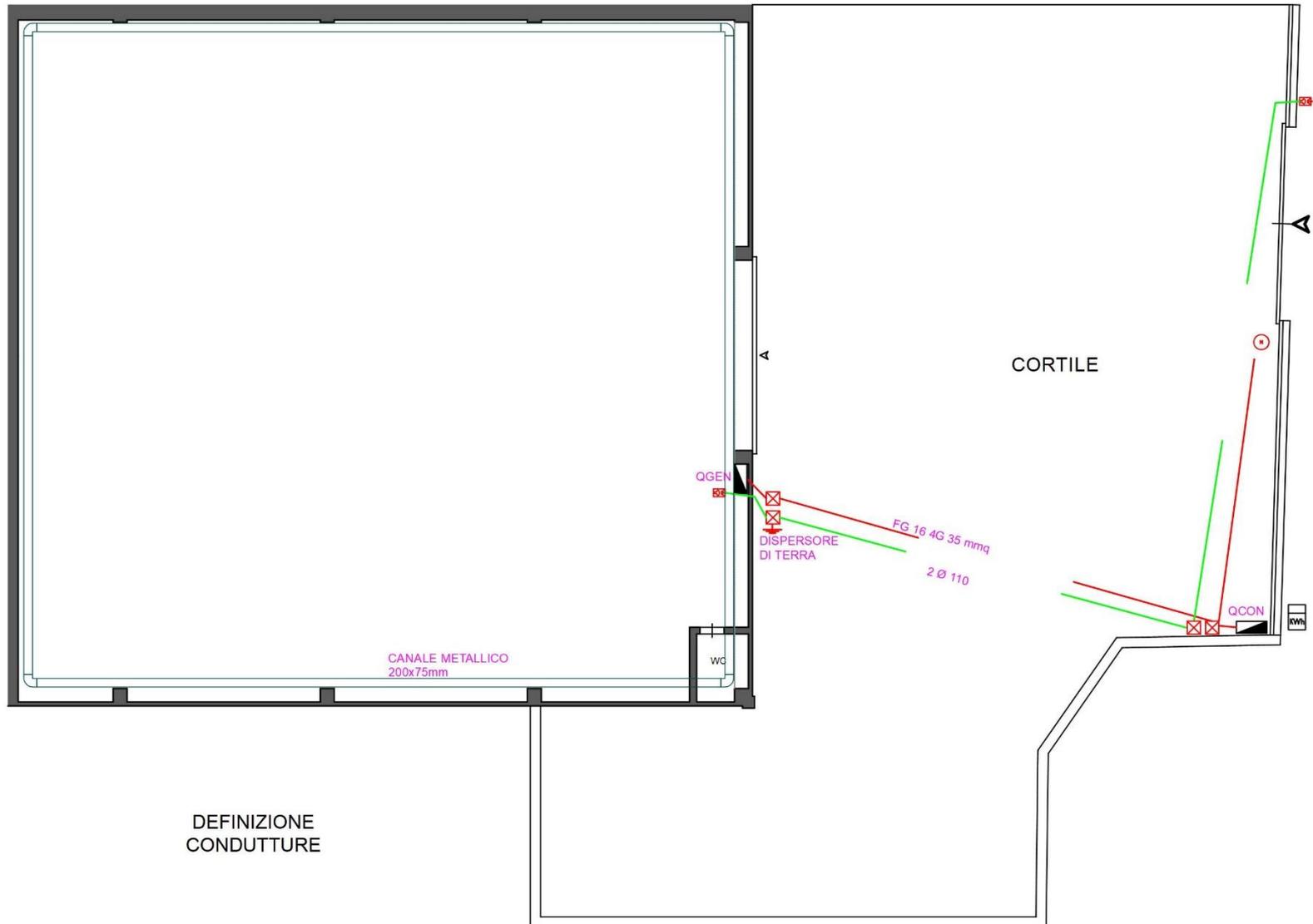
Il capannone è costituito da una struttura prefabbricata in c.a.p. con uno spiazzo esterno ed il contatore è posizionato sulla recinzione



Esempio di progettazione



Esempio di progettazione



Esempio di progettazione

Per proteggere la linea di alimentazione del quadro elettrico generale del magazzino è necessario installare a valle del contatore un dispositivo di protezione automatico.

Attenzione: l'interruttore montato a bordo del contatore in generale non ha funzione di protezione e pertanto non va considerato

Il sistema di messa a terra è TT, poiché il dispersore dell'impianto è indipendente dal distributore

Nel quadro generale si installeranno i dispositivi di sezionamento e protezione delle linee di alimentazione delle utenze, oltre ad eventuali dispositivi di controllo e comando (orologi, relè, ecc.)



Elementi di progettazione

Utenza	fasi	Potenza [kW]	I _b [A]	cos φ	Qt.
Cabina verniciatura	3N	8 kW	12,83	0.9	1
Camera essiccazione	3N	6 kW	9,62	0.9	1
Troncatrice	1N	1,7 kW	8,21	0.9	2
Combinata	3N	5,5 kW	8,82	0.9	1
Tubia	1N	2,2 kW	10,63	0.9	1
Sega a nastro	1N	2,5 kW	12,08	0.9	1
Pialla a filo	3N	4 kW	6,41	0.9	1
Radiale	3N	3,5 kW	5,61	0.9	1
Pialla a spessore	1N	2 kW	9,67	0.9	1

Riepilogo dei carichi



Esempio di progettazione

La potenza totale complessiva è maggiore di 30 kW pertanto, come previsto dalla norma CEI 0-21, la corrente di cortocircuito a valle del contatore si assume pari a 15 kA

La linea di alimentazione del quadro generale è lunga 30 m per cui, ipotizzando per la linea un cavo in EPR da 35mmq, possiamo calcolare la lcc a valle con le formule seguenti

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}}$$
$$Z_{cc} = \sqrt{(R_0 + R_L)^2 + (X_0 + X_L)^2}$$

E' importante l'uso della tecnologia che ci consente di avere la possibilità Per praticità è comunque conveniente utilizzare tool software anche online per effettuare i calcoli

Tool online per il calcolo della corrente di cortocircuito

http://electroarea.altervista.org/corrente_di_cortocircuito_fine_linea_calcolo_lcc.html



Esempio di progettazione

La linea da 35 mmq è realizzata con un cavo multipolare interrato per cui la portata del cavo (I_z) è pari a 159A come si evince dalla tabella sottostante estratta dal sito di un produttore

PORTATA DI CORRENTE PER CAVI ISOLATI IN GOMMA (G7 - G10)

I valori riportati in tabella sono riferiti alle seguenti condizioni di esercizio e posa:

- Temperatura di esercizio del conduttore 90°C
- Temperatura ambiente per posa in aria: 30°C
- Temperatura del terreno per posa interrata: 20°C
- Resistività termica del terreno: 100°C cm/W

Sezione mm ²	Posa in aria entro tubi o cassette - o cassette appoggiati al muro		Posa in aria libera, cavi appoggiati al muro o sospesi a fune portante		Posa direttamente interrata	
	3 cavi unipolari	1 cavo tripolare	3 cavi unipolari	1 cavo unipolare	3 cavi unipolari	1 cavo tripolare
1,5	19,5	19,5	24	23	30	28,5
2,5	26	26	33	32	41	38
4	35	35	45	42	53	49
6	46	44	58	54	67	61
10	63	60	80	75	89	81
16	85	80	107	100	115	104
25	112	105	135	127	149	133
35	138	128	169	157	179	159



Esempio di progettazione

La linea da 35 mmq è realizzata con un cavo multipolare interrato per cui la portata del cavo (I_z) è pari a 159A come si evince dalla tabella sottostante estratta dal sito di un produttore

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$
$$\sim 60A \leq I_n \leq 159$$

La scelta di un interruttore automatico con corrente nominale pari ad 80A consente il rispetto della condizione precedente

La seconda condizione, che si riporta di seguito, è sempre verificata per gli interruttori modulari con le curve caratteristiche standard mentre va verificata con gli interruttori scatolati o con curve non standard

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z = 1,45 \cdot 159 = 230,55 A$$



Normativa essenziale di riferimento

- **CEI 64-8** «Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua»
- **Guida CEI 0-2** «Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici»
- **Norma CEI 0-21** «Regola tecnica di riferimento per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica»
- **Guida CEI 64-50** «Edilizia ad uso residenziale e terziario. Guida per l'integrazione degli impianti elettrici utilizzatori e per la predisposizione delle infrastrutture per gli impianti di comunicazioni e impianti elettronici negli edifici. Criteri generali»
- **CEI EN 60947-2** «Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici»



Normativa essenziale di riferimento

- **CEI EN 60898-1** «Interruttori automatici per la protezione dalle sovracorrenti per impianti domestici e similari. Parte 1: Interruttori automatici per funzionamento in corrente alternata»
- **CEI 23-51** «Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similare»
- **CEI EN 61439-1, 2 e 3** «Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)»
- **Guida CEI 64-12** «Guida per l'esecuzione dell'impianto di terra negli edifici per uso residenziale e terziario»



Software di progettazione

Ritenendo di fare cosa gradita si riportano i link per il download di software di progettazione gratuiti resi disponibili dai maggiori costruttori

ABB E-Design:

<https://new.abb.com/low-voltage/it/area-tecnica/software-tecnici/e-design/download>

B-Ticino TiSystem:

<https://professionisti.bticino.it/strumenti/software-di-progettazione/tisystem>

Schneider Electric i-Project:

<https://www.se.com/it/it/work/support/technical-software/>

Siemens Sienergy:

<https://new.siemens.com/it/it/prodotti/energy/bassa-tensione/sienergy-lite.html>



Edoardo Lancione

Ordine degli Ingegneri della provincia di Foggia

Per segnalazioni e richieste: ing@edoardolancione.it



Accesso e distribuzione: tutti i diritti riservati

Il materiale videofotografico reca l'indicazione della fonte e, dove mancante, sono di propria edizione, l'autore preferisce non comparire o non è stato possibile risalirvi o contattarlo rimanendo a disposizione per il riconoscimento delle eventuali legittime richieste, valutando comunque di dominio pubblico quanto tratto da internet.

Le informazioni qui veicolate sono state trattate con estrema cura, tuttavia non se ne può garantire la piena esattezza e si esclude ogni responsabilità per danni arrecati direttamente o indirettamente dall'uso di tali informazioni.

