Impianti elettrici negli edifici civili

Si definiscono impianti negli edifici civili, gli impianti installati in locali adibiti ad abitazioni, uffici, alberghi, luoghi di culto, ecc.
La tensione unificata a livello europeo è 230 V monofase e 230/400 V trifase (CEI 8-6, art.3).
L'impianto elettrico di un appartamento di superficie superiore a 400 m^2 o che comprende un locale adibito a uso medico (o nei rari casi in cui la potenza della caldaia superi 35 kW), deve essere progettato da un professionista competente, iscritto all'albo (legge 46/90). Lo stesso dicasi per l'impianto elettrico dei servizi condominiali:

- con potenza impegnata maggiore di 6 kW, oppure
- con centrale termica a gas o con compartimento antincendio di classe uguale o superiore a 30[1], oppure
- con autorimessa con più di nove autoveicoli, oppure
- con più di nove box che non si affacciano su spazio a cielo libero (DM 1/2/86), oppure
- se l'edificio ha altezza di gronda superiore a 24 m.

Il progetto di un professionista iscritto all'albo, che conosca bene le norme CEI e la tecnica impiantistica, è ovviamente auspicabile in ogni caso.

Locale contatori

I gruppi di misura sono centralizzati per fabbricato, o scala, e devono essere ubicati in posizione accessibile al Distributore di energia anche in assenza degli utenti. Tale ubicazione deve essere preventivamente concordata con il Distributore di energia.
Nei piccoli condomini, sino a tre o quattro appartamenti, i contatori vengono spesso installati in nicchia sui muri esterni o sulle recinzioni. Negli altri casi l'installazione avviene in un apposito locale od in nicchia nell'ingresso comune.
Come noto, nelle forniture di energia elettrica fino a 30 kW in bassa tensione, il Distributore di energia installa interruttori automatici di sovracorrente, comunemente detti limitatori, al fine di limitare la potenza prelevabile dall'utente entro il valore contrattuale.
La corrente nominale di tali limitatori è stabilita in modo che l'utente possa prelevare la potenza contrattuale impegnata maggiorata del 10% (a cos fi = 0,9).
I vecchi contatori dell'Enel avevano a valle un interruttore limitatore di corrente nominale 16 A per potenza contrattuale di 3 kW e potere di cortocircuito 6 kA in trifase e 4,5 kA in monofase. Nei nuovi gruppi di misura la limitazione di potenza è affidata ad uno sganciatore elettronico associato ad un interruttore automatico con corrente nominale di 63 A e potere di cortocircuito di 6 kA.

Montanti

Per colonna montante, o semplicemente montante, si intende la conduttura che collega il gruppo di misura al quadretto elettrico di appartamento. Prende il nome di montante perché spesso ha andamento verticale, ma fanno parte del montante anche eventuali tratti orizzontali.
La sezione del cavo va scelta in funzione della potenza da trasportare, in modo da non superare la portata del cavo I_z (è bene però sovradimensionare per permettere eventuali futuri potenziamenti) e in relazione alla lunghezza per contenere la caduta di tensione (CEI 64-50).
La caduta di tensione tra il gruppo di misura e un qualsiasi punto dell'impianto non deve superare il 4% della tensione nominale con il carico di progetto (raccomandazione CEI 64-8/5, Sez. 525).
La guida CEI 64-50 consiglia di dimensionare il montante in maniere da contenere la caduta di tensione nel montante entro il 2%.

[1] La classe del compartimento indica il tempo, in minuti, per il quale la struttura portante deve resistere all'incendio.

Si riporta una stralcio del capitolo 52 delle norme CEI 64-8:

Sez. 520 Generalità

Ove, in edifici a destinazione primariamente residenziale (vedere Commento a 314.1), siano previsti impianti utilizzatori alimentati attraverso organi di misura e consegna centralizzati (in quanto raggruppati cioè in un unico locale dell'edificio e destinati al servizio di più unità immobiliari);

- *i singoli montanti sono considerati come parte del rispettivo impianto utilizzatore. Il conduttore di neutro non può essere utilizzato in comune tra diversi montanti;*
- *Si raccomanda che ogni montante sia costituito da un cavo multipolare con guaina oppure da più cavi unipolari (questi ultimi posati entro un tubo protettivo per montante; questa raccomandazione è considerata soddisfatta anche se i cavi unipolari senza guaina vengono posati entro uno stesso canale nel tratto di percorso orizzontale all'interno del locale contatore o in un tratto orizzontale di lunghezza non superiore a 3m, a partire dal quadro contenente i contatori.*
- *si raccomanda che i cavi, i tubi protettivi, i canali, le cassette terminali e quelle eventuali disposte lungo i montanti siano distinti per ogni montante; peraltro le cassette rompitratta o di ammarro, nelle quali i cavi sono passanti senza morsetti, possono essere comuni a diversi circuiti;*
- *si raccomanda che i singoli montanti siano contrassegnati, per la loro individuazione, almeno in corrispondenza delle due estremità;*
- *il tratto di conduttore di protezione al quale vanno collegati i conduttori di protezione dalle singole unità immobiliari, o parti di impianto utilizzatore, può essere unico per un gruppo di montanti: in questo caso si raccomanda che esso abbia un proprio tubo di protezione, cassette di derivazione (ed eventualmente di ammarro) esclusive ed individuabili, e che per tale conduttore la connessione alle singole derivazioni sia possibile senza interruzione della sua continuità elettrica.*

Sez. 473 Protezione dei montanti negli impianti alimentati attraverso organi di misura centralizzati

Protezione dei montanti negli impianti alimentati attraverso organi di misura centralizzati

I montanti che collegano gli organi di misura e consegna centralizzati alle rispettive unità immobiliari devono essere protetti contro le sovraccorrenti secondo le prescrizioni del capitolo 43 ...omissis...

Tale protezione deve essere assicurata da un dispositivo, installato subito a valle dell'organo di misura e consegna, atto a garantire la protezione contro i circuiti ed anche la protezione contro i sovraccarichi ove questa non sia garantita dai dispositivi installati in corrispondenza all'entrata del montante nell'unità immobiliare.

Il dispositivo di protezione alla base del montante...omissis... può essere omesso quando si verificano insieme le seguenti condizioni:

a) sia presente ed accessibile all'utente l'interruttore automatico del distributore...omissis... e tale interruttore automatico sia conforme ai requisiti della Sezione 434

b) le protezioni installate in corrispondenza all'entrata del montante dell'unità immobiliare siano atte a proteggere contro i sovraccarichi il montante stesso;

c) il montante sia costruito in modo da rendere minimo il rischio di corto circuito. Questa condizione richiede tra l'altro una adeguata protezione meccanica, termica e contro l'umidità.

L'interruttore automatico del distributore o quello installato a valle dell'organo di misura alla base del montante, se di caratteristiche adatte, può anche essere utilizzato per il sezionamento (art. 462.1) del montante.

Nota - L'interruttore automatico installato dal distributore ha lo scopo di limitare la potenza a disposizione dell'utente; il distributore non è tenuto a garantire l'efficienza di tale dispositivo ma ciò non invalida la possibilità di usare tale interruttore quale dispositivo di protezione e di sezionamento.

In pratica i montanti possono essere costituiti da cavi unipolari o multipolari, il conduttore di protezione può essere singolo o comune. Cavi unipolari sono ammessi solo se posati in tubi separati (la separazione in tubi diversi deve avvenire entro 3 metri dai contatori). Il conduttore di protezione comune deve avere tubo e cassetta esclusivi. I montanti devono essere facilmente individuabili almeno in corrispondenza delle due estremità, ad esempio con targhetta fascettata. Le cassette possono essere comuni a più montanti solo se i cavi sono passanti senza morsetti, fig 1.

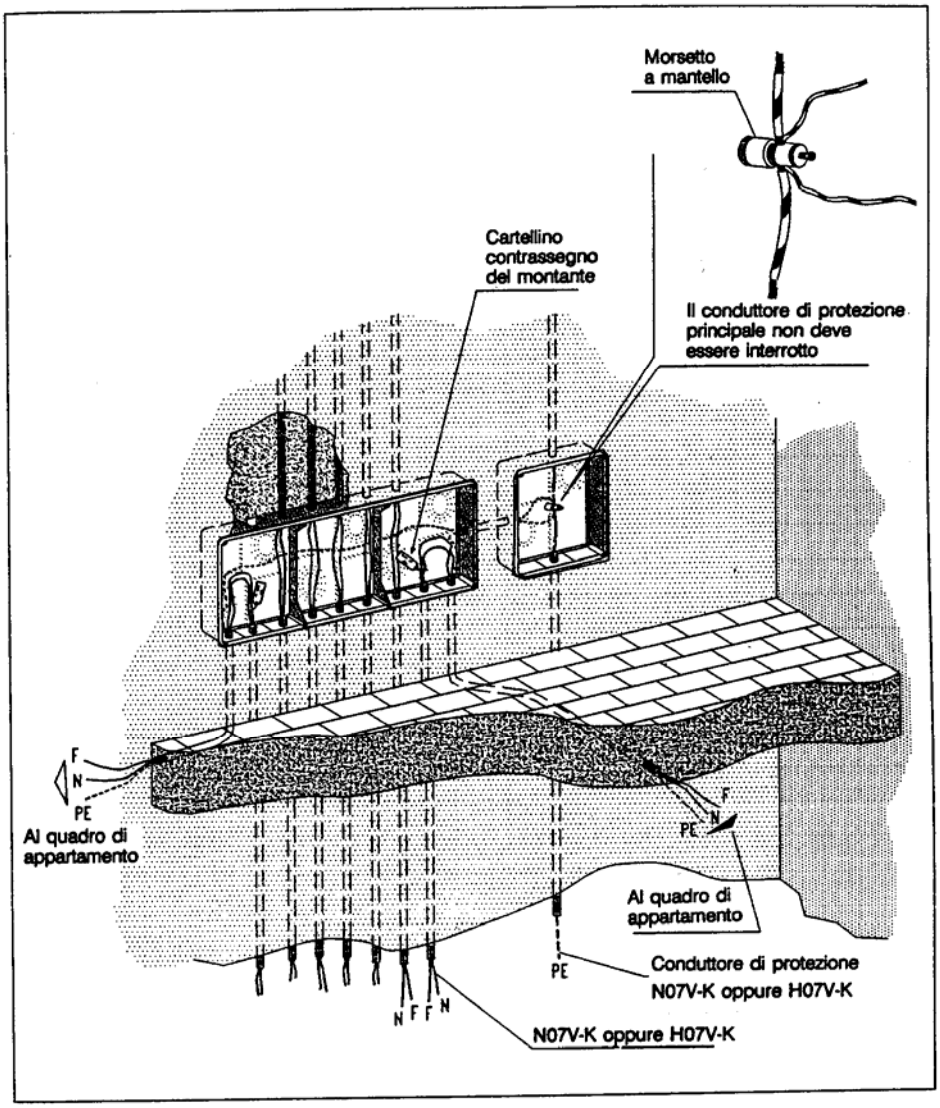


Fig. 1 – Montanti costituiti da cavi unipolari posati in tubi separati, con conduttori di protezione comune, in tubo e cassette esclusivi.

Il montante può essere protetto contro il cortocircuito dal limitatore del Distributore di energia, il quale serve anche per sezionare l'impianto, purché il limitatore sia accessibile all'utente, come in genere avviene, e il montante sia realizzato in modo da rendere minimo il rischio di cortocircuito.

La protezione contro il sovraccarico, come regola generale, può essere installata anche al termine della conduttura. Per il montante, volendo utilizzare l'interruttore limitatore per la protezione contro il cortocircuito, la protezione contro il sovraccarico deve essere assicurata dall'interruttore automatico generale posto sul quadretto di appartamento, di corrente nominale 16 A per potenza contrattuale di 3 kW e di 32 A per potenza contrattuale di 6 kW.
Per quanto riguarda la protezione del montante contro i contatti indiretti, tale protezione può essere omessa (CEI 64-8/4, art. 413.2.1.1) se non ci sono masse fino al quadretto di appartamento (tubi protettivi, canali e quadretti in materiale isolante).
Il fatto che la norma consente di affidare la protezione del montante al limitatore del Distributore soltanto negli "impianti utilizzatori alimentati attraverso organi di misura centralizzati", non ha giustificazione tecnica, ed è soluzione di compromesso tra la posizione dei Distributori, che si oppongono ad affidare al limitatore la protezione e il sezionamento del montante, e la speranza di evitare tre interruttori in serie (limitatore, interruttore di sezionamento e protezione del montante e interruttore generale di appartamento)
L'ente distributore non garantisce l'idoneità dei limitatori alla protezione contro le sovracorrenti, ma la norma accetta il rischio.
Porre un interruttore automatico subito a valle del limitatore è buona regola, ed evita che la protezione del montante possa venire a mancare con il cambiamento del limitatore da parte del Distributore. Ad esempio con i nuovi contatori elettronici, con la corrente nominale è cambiata anche la curva dell'energia specifica passante, fig. 2. Dal confronto con le energie specifiche passanti tollerabili dai cavi in PVC emerge che il cavo in PVC di 2,5 mm^2 di sezione non è protetto se la corrente di corto circuito minima (corto circuito fase-terra in fondo al montante) è inferiore alla corrente di intervento del relè magnetico del limitatore.

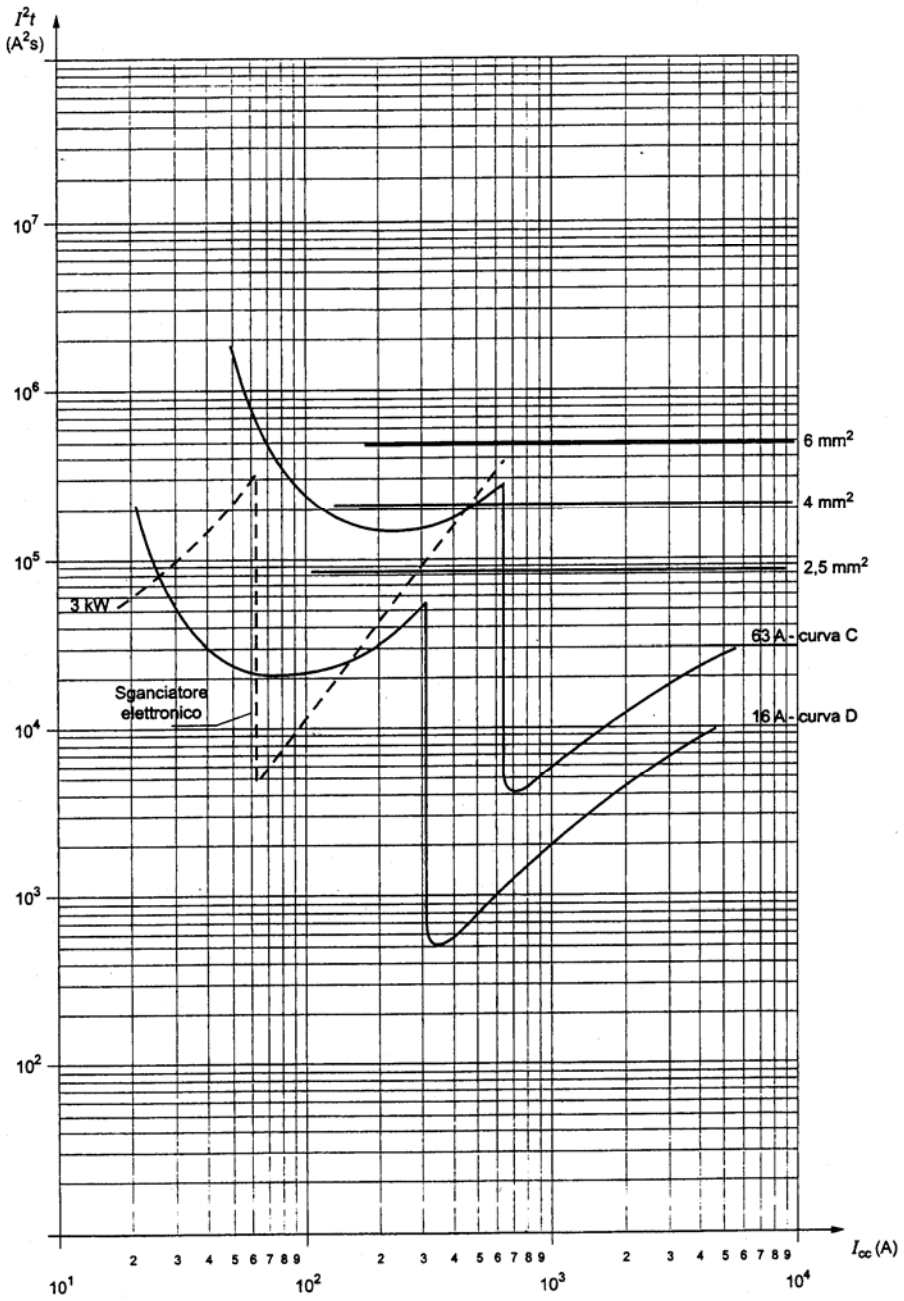


Fig. 2 - Andamento dell'energia specifica passante del vecchio interruttore limitatore (16 A - curva D) e del nuovo interruttore (63 A - curva C), messe a confronto con l'energia specifica passante sopportabile dal montante in PVC.

Appartamento

La distribuzione dell'energia all'interno dell'appartamento si realizza con due o più circuiti, in funzione della superficie dell'appartamento, ognuno dei quali può alimentare:
- utilizzatori della stessa natura (circuiti luce-circuiti prese), oppure
- utilizzatori di una zona (circuiti a zone).

È da prevedere un interruttore generale magnetotermico di corrente nominale 16 A per potenza contrattuale di 3 kW e di 32 A per potenza di 6 kW.[2]

L'interruttore generale dell'appartamento può non essere magnetotermico se alla base del montante è stato installato un interruttore automatico con la corrente nominale suindicata.

Nei confronti dei contatti indiretti occorre una protezione differenziale[3]: questa può essere generale, oppure può essere inserita sui circuiti terminali.

I tubi protettivi, le cassette e le scatole per l'impianto di energia, per impianti telefonici, segnali TV, segnalazione (SELV)[4] vanno tenute distinte fra loro (CEI 64-8/5, art. 528.1.1) I cavi del citofono possono coesistere nello stesso tubo con cavi di energia se hanno lo stesso isolamento di questi ultimi.

I tubi protettivi installati nella parete devono avere percorso orizzontale, verticale o parallelo allo spigolo della parete. Nel pavimento e nel soffitto il percorso può essere qualsiasi, fig. 3.

Il raggio di curvatura dei tubi deve essere tale da non danneggiare i cavi. Si considera adeguato un raggio di curvatura pari a circa tre volte il diametro esterno del tubo; il che permette anche di sfilare più facilmente i cavi (CEI 64-8/, art. 522.8.1.2).

Le condutture non devono sconfinare in altre unità immobiliari (CEI 64-8/4, sez. 462).

Le conduttore elettriche non devono essere installate in prossimità di tubazioni che producano calore, fumi e vapori, a meno che non siano protette dagli eventuali effetti dannosi (CEI 64-8/, art. 528.2.1).

Quando gli apparecchi utilizzatori, ad esempio gli apparecchi di illuminazione, non siano stati installati, l'estremità dei conduttori deve essere protetta contro i contatti diretti, ad esempio mediante nastratura (CEI 64-8/4, art. 412.2).

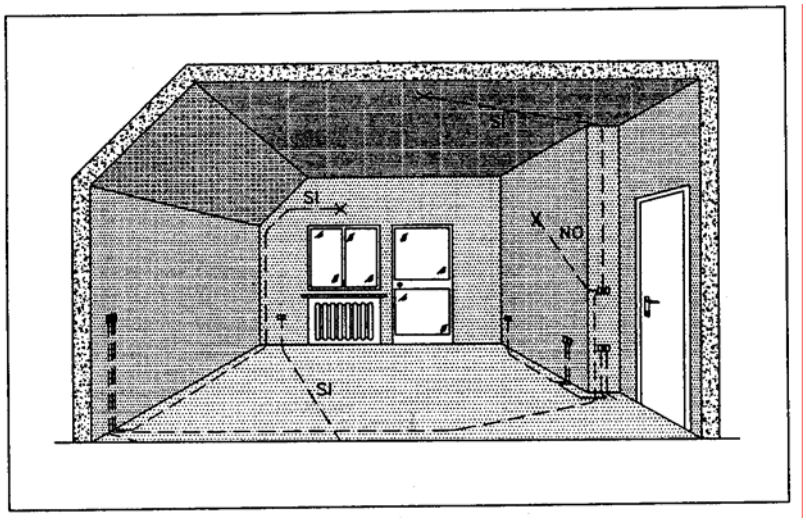


Fig. 3 - I tubi protettivi incassati a parete devono avere percorso orizzontale, verticale o parallelo a uno degli spigoli della parete. Nel pavimento e nel soffitto l'andamento può essere qualsiasi.

[2] Per "potenza contrattuale" si vuole qui intendere la potenza per la quale l'impianto è progettato e che l'utente non può superare nello stipulare il contratto di fornitura di energia elettrica, salvo apportare le modifiche eventualmente necessarie.

[3] Non è indispensabile nei sistemi TN.

[4] Non è vietato alimentare i circuiti di comandi e segnalazione alla tensione di rete.

Le giunzioni e le derivazioni devono essere eseguite con appositi dispositivi di connessione (morsetti con o senza vite) aventi grado di protezione IPXXB (parti attive, cioè le parti in tensione nel servizio ordinario incluso il neutro, non sono accessibili al dito di prova); non sono quindi considerate giunzioni e/o derivazioni eseguite con attorcigliamento e nastratura (CEI 23-20, 23-21, 23-30)
È ammesso l'entra-esci sui morsetti, ad esempio di una presa per alimentare un'altra presa, purché esistano doppi morsetti, o questi siano dimensionati per ricevere la sezione totale dei conduttori da collegare, fig. 4 (CEI 64-8/5, art. 526.3).

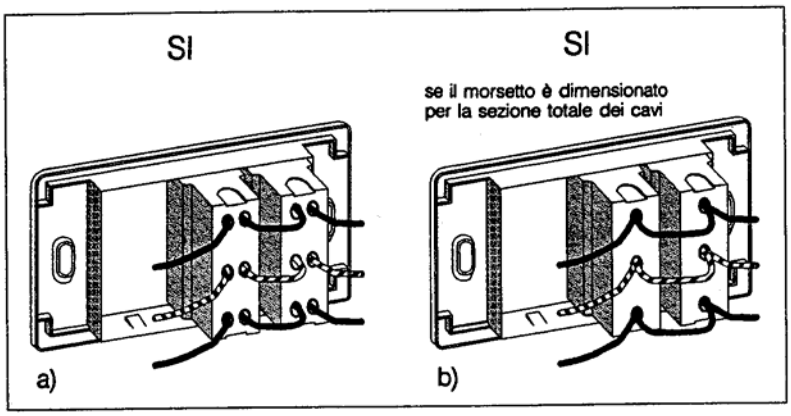


Fig. 4 - L'entra-esci sugli apparecchi è ammesso solo se esistono doppi morsetti a), oppure se il morsetto è dimensionato per la sezione totale dei cavi b).

Nell' esecuzione delle connessioni non si deve ridurre la sezione dei conduttori e lasciare parti scoperte. I dispositivi di connessione devono essere ubicati nelle cassette; non sono ammessi nei tubi e sono fortemente sconsigliati nelle scatole porta-apparecchi (CEI 64-8/5, art. 526.4).
Si raccomanda che le prese a spina siano installate in modo che l'asse di inserzione risulti orizzonta1e o prossimo all'orizzontale. L'asse di inserzione delle prese a spina deve risultare ad un'altezza dal piano di calpestio di almeno 175 mm se a parete (sia con montaggio incassato, sia sporgente) o di almeno 70 mm se da canalizzazioni o zoccoli (CEI 64-8/5, art. 537.5.2).

Le quote di installazione di prese, comandi ed apparecchiature sono indicate in fig. 5.

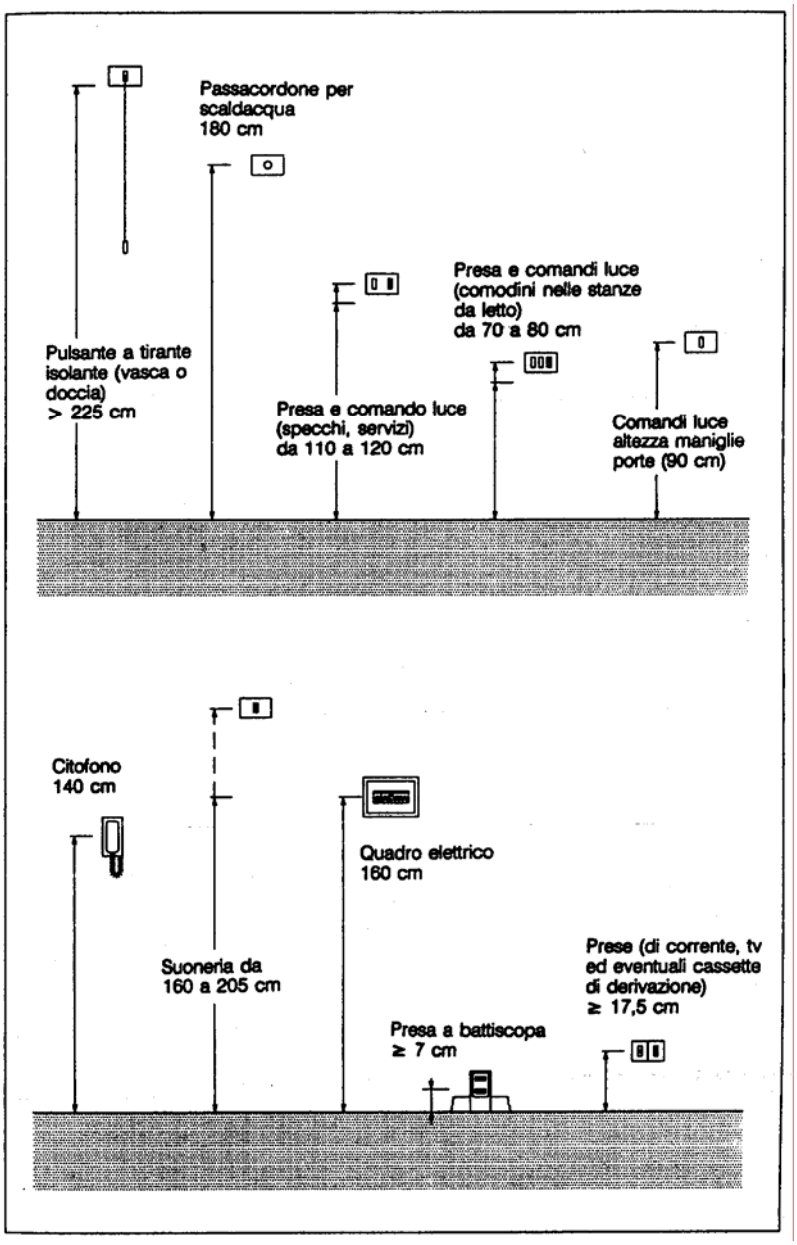


Fig. 5 - Quote di installazione delle apparecchiature, secondo la norma CEI 64-8 e la guida CEI 64-50.

Ai fini dell'eliminazione delle barriere architettoniche (legge 9/1/89 n.13, DM 14/6/89 n.236, Circolare 22/6/89 n. 1669/UL) occorre ubicare in posizione comoda per il portatore di handicap gli interruttori, i campanelli, i pulsanti di comando, le prese ed il citofono, secondo quanto indicato in fig. 6. Tali apparecchiature devono essere facilmente individuabili anche in condizioni di scarsa visibilità ed essere protette dal danneggiamento per urto; nelle scale i dispositivi di comando devono essere visibili anche al buio (luminosi) ed essere previsti ad ogni pianerottolo.
Tali norme speciali per l'eliminazione delle barriere architettoniche
devono essere applicate:
- negli spazi esterni, almeno lungo un percorso agevolmente fruibile da parte di persone con ridotte o impedite capacità motorie o sensoriali;
- nelle parti comuni del condominio, ad esempio: scale, pianerottoli, sale-riunioni, porticati, ecc...
- nel 5% degli alloggi previsti negli interventi di edilizia residenziale convenzionata, con un minimo di una unità immobiliare per intervento.

Nei locali servizi previsti per i portatori di handicap deve essere installato un campanello di allarme in prossimità della vasca e del wc.
Secondo il DM 236/89 almeno un locale servizi dovrebbe essere previsto per i portatori di handicap in tutti gli appartamenti (salvo gli edifici unifamiliari o plurifamiliari senza parti comuni) ed altri provvedimenti quali l'accessibilità del locale servizi per una persona su sedia a ruote, l'installazione di corrimano, l'accessibilità laterale al wc, ecc... .

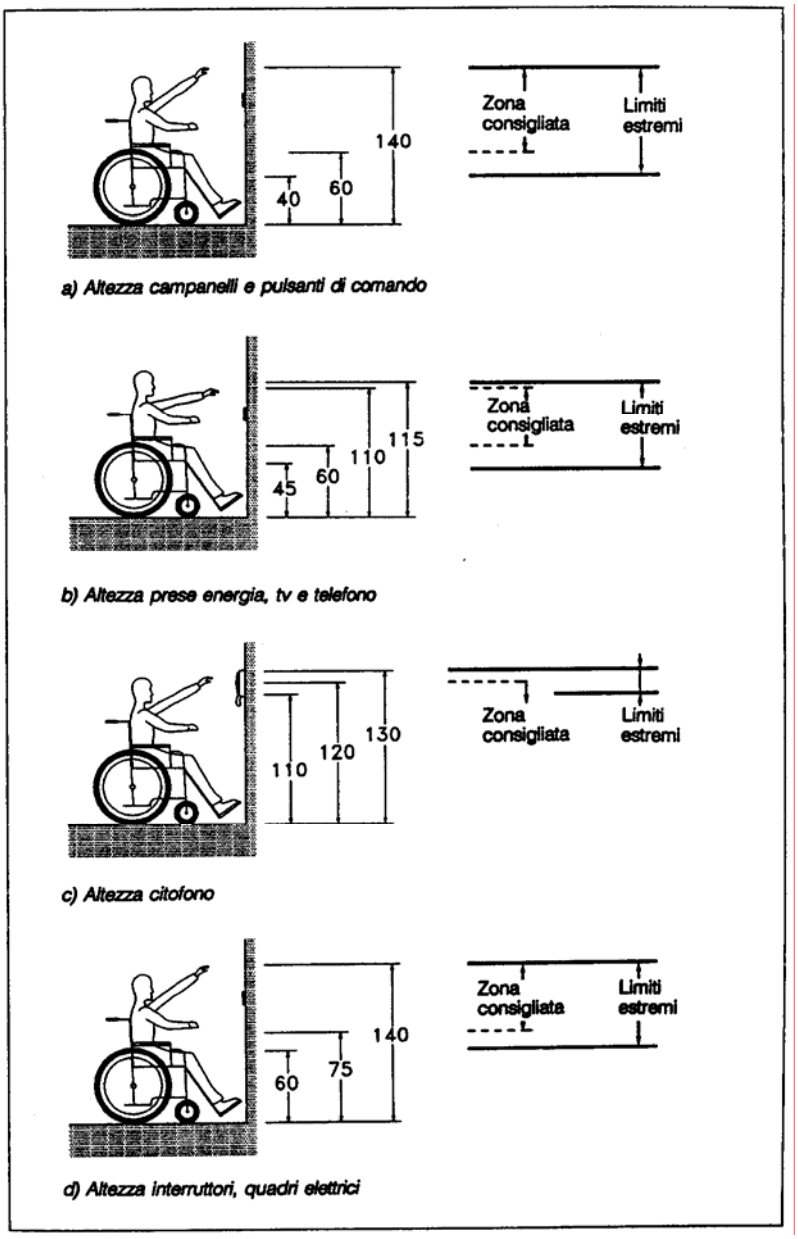


Fig. 6 - Disposizione delle apparecchiature elettriche ai fini dell'eliminazione delle barriere architettoniche (quote in centimetri).

Bagni e docce

Il maggior rischio elettrico nei locali contenenti bagni o docce trova puntuale conferma nelle notizie di cronaca: un terzo di tutti gli infortuni mortali negli edifici civili avvengono nel locale da bagno o doccia.
Le norme individuano tre zone di pericolosità decrescente dalla distanza dal bordo della vasca o dal piatto doccia, fig. 7. La zona 1 + 2 viene comunemente denominata zona di rispetto; la zona 3 indica che, nei locali vasti, a tre metri dal bordo della vasca o piatto doccia, finisce convenzionalmente il maggior rischio elettrico e il luogo diviene ordinario. Il volume interno alla vasca è denominato zona 0 (CEI 64-8/7, art. 701.32).

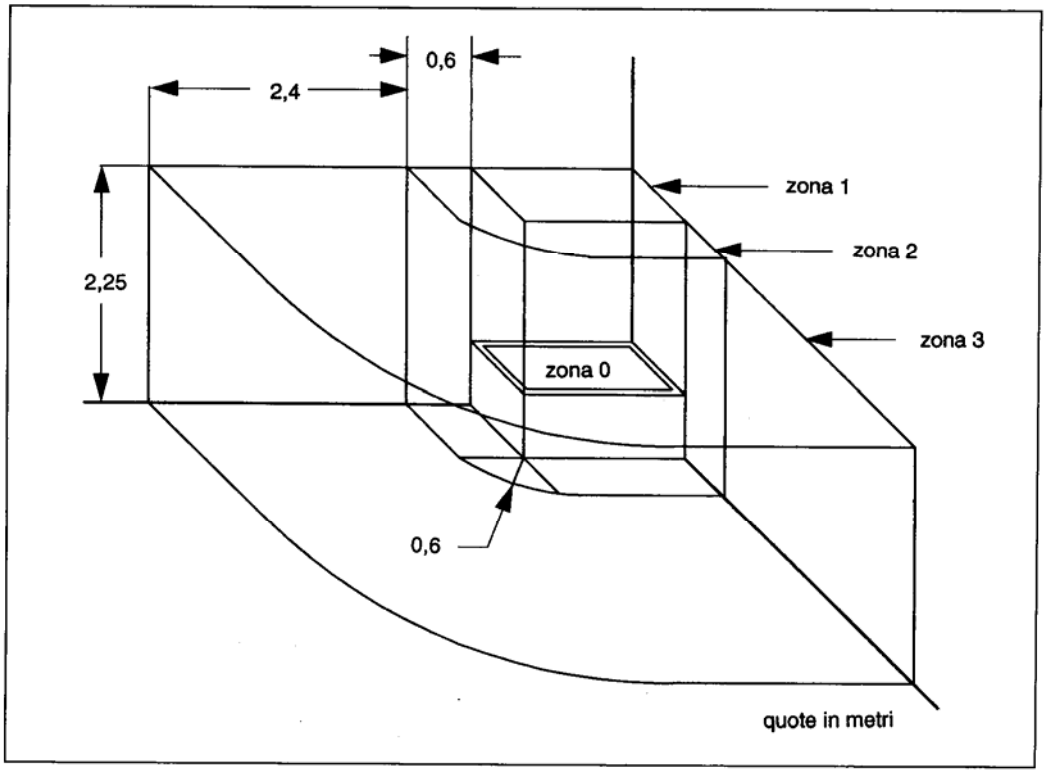


Fig. 7 – Zone convenzionali di pericolosità nei locali da bagno.

Le zone non si estendono all'esterno del locale attraverso le aperture munite di serramenti: ciò vuol dire che l'interruttore posto fuori dalla porta del bagno è ammissibile, anche se dista meno di 60 cm dal bordo della vasca.
Schermi fissi isolanti e muri deformano[5] le zone di pericolosità come indicato in Fig. 8.

[5] Regola del filo teso: si immagini un filo di lunghezza pari alla quota che individua la zona. Se un'estremità viene fissata sull'ostacolo e si ruota il filo teso contornando 1'ostacolo, l'altra estremità del filo descrive il nuovo limite della zona.

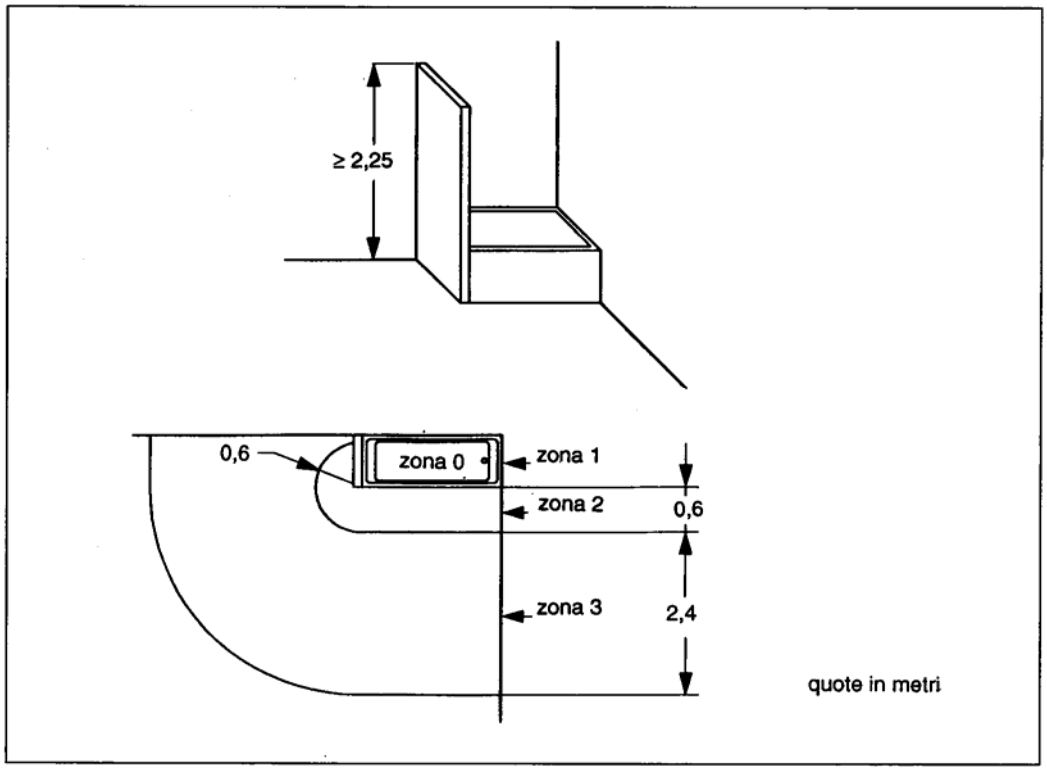


Fig. 8 - Gli schermi isolanti deformano le zone (secondo la regola del filo teso).

Nella tabella 1 sono riassunte le principali regole di installazione relative alle zone di pericolosità 1,2 e 3 (CEI 64-8, sez. 701).

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
Grado di protezione minimo contro la penetrazione di liquidi	IPX4 (1)	IPX4 (1)	IPX1 (1)
Dispositivi di comando, protezione, ecc. (art. 701.53)	Vietati (2)	Vietati (2)	Ammessi, purché protetti con interruttore differenziale con Idn ≤ 30 mA (3)
Apparecchi utilizzatori (art. 701.55)	Ammessi - Apparecchi fissi Selv - Scaldacqua (4) (5)	Ammessi oltre a quelli della zona 1: - App. illum., di riscaldamento, unità per idromassaggio di classe II o di classe I, con interruttore differenziale Idn ≤ 30 mA (3)	Nessuna limitazione (regole generali)
Prese a spina (art. 701.53)	Vietate	Ammesse prese per rasoi elettrici con proprio trasformatore di isolamento classe II incorporato (5)	Ammesse, purché protette con interruttore differenziale con Idn ≤ 30 mA (3)
Condutture elettriche (eccetto quelle incassate a profondità maggiore di 5 cm) (art. 701.52)	Limitate a quelle che alimentano apparecchi posti nelle zone 1 e 2. Isolamento corrispondente alla classe II e senza tubazioni metalliche.		Nessuna limitazione (regole generali)
Collegamento equipotenziale supplementare (art. 701.413.1.6)	Richiesto	Richiesto	Richiesto

Tab. 1 – Impianti elettrici in locali da bagno-doccia

(1) Il grado IPX1 indica la protezione contro la caduta verticale di gocce d'acqua; IPX4 contro gli spruzzi d'acqua in tutte le direzioni;
(2) Ad eccezione di interruttori di circuiti SELV alimentati a tensione fino a 12 V in c.a. o a 30 V in c.c. con sorgente di sicurezza fuori dalle zone 0 - l e 2.
(3) È sufficiente l'interruttore differenziale generale di appartamento. Sono ammesse anche le prese a bassissima tensione di sicurezza o con proprio trasformatore di isolamento.
(4) Unità per vasche da idromassaggio rispondenti alle rispettive norme, possono essere poste sotto la vasca da bagno se tale zona è accessibile solo con l'ausilio di attrezzo ed è effettuato il collegamento equipotenziale supplementare. Sono ammessi elementi riscaldanti annegati nel pavimento, se ricoperti con griglia o schermo metallico collegato a terra, connesso al collegamento equipotenziale.
(5) Gli scaldacqua con grado di protezione IPX4, ammessi in zona l, sono difficilmente reperibili in commercio. Lo stesso dicasi per le prese a spina per rasoi elettrici, con grado di protezione IPX4, dotate di trasformatori di isolamento, ammesse in zona 2.

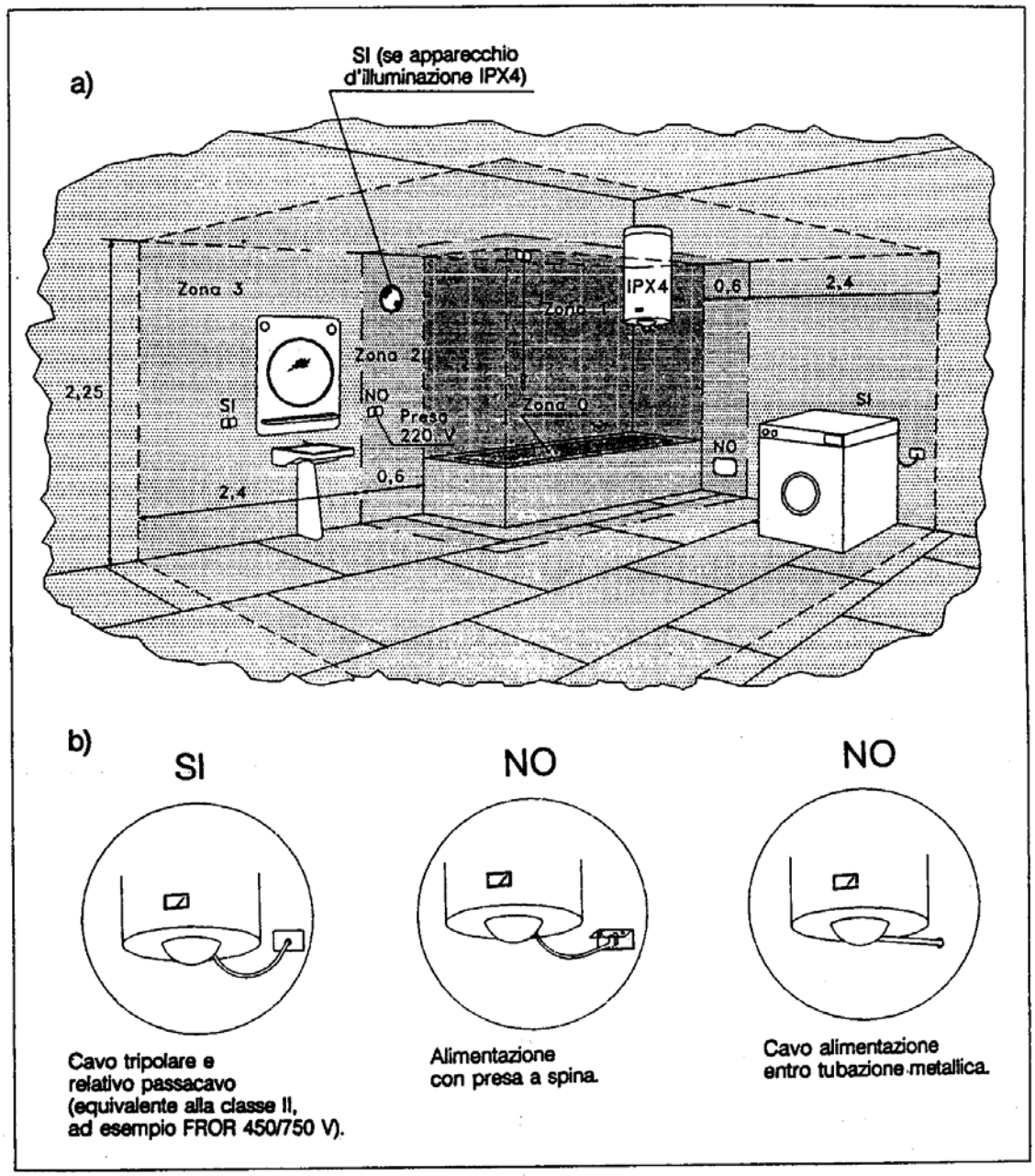


Fig. 9 - Locale da bagno:
a) individuazione delle zone e ubicazione di alcuni componenti elettrici (quote in metri);
b) particolari del collegamento elettrico dello scaldacqua ubicato in zona 1 o 2.

È necessario effettuare un collegamento equipotenziale supplementare tra tutte le masse e le masse estranee che entrano nel locale da bagno, Fig. 10 (CEI 64-8/7, art. 701.413). In questa situazione di maggior rischio elettrico, per massa estranea si deve intendere non solo una parte conduttrice che può introdurre il potenziale zero di terra, ma anche una parte conduttrice che, estendendosi all'esterno del locale, può introdurre nel locale stesso potenziali pericolosi. È il caso, ad esempio, di un tubo metallico isolato da terra e in tensione, perché connesso ad un apparecchio difettoso in un altro locale o appartamento.
I conduttori equipotenziali supplementari sono da collegare al conduttore di protezione nella cassetta di giunzione più vicina.

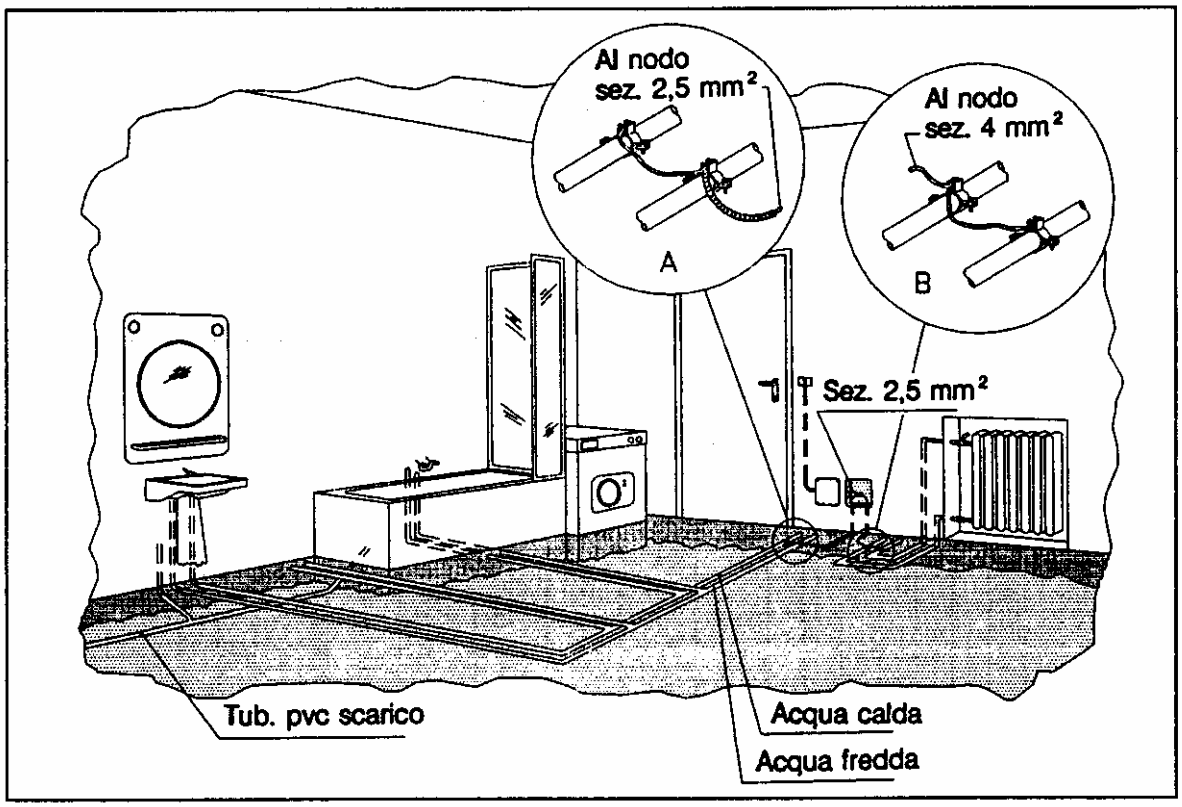


Fig. 10 - Esempio di collegamento equipotenziale supplementare nel locale da bagno: A) con tubo protettivo; B) senza tubo protettivo.

Appendice: luoghi conduttori ristretti

Per “luogo conduttore” si intende un luogo delimitato da superfici conduttrici, è “ristretto” quando ricorrono entrambe le condizioni seguenti:
- è in buon collegamento con il terreno, ad esempio un serbatoio metallico naturalmente a terra o connesso per altre ragioni a terra, ovvero un cunicolo umido o bagnato;
- il volume è ridotto, o le modalità dell’attività svolta sono tali da provocare il contatto della persona con le parti conduttrici su un’ampia superficie del corpo (diversa da mani e piedi).

Queste condizioni ambientali corrispondono a una bassa resistenza verso terra, a una resistenza ridotta del corpo umano, a percorsi della corrente nel corpo più pericolosi, a difficoltà di distacco dalle parti conduttrici.
Per quanto riguarda la resistenza del corpo umano in funzione del percorso si veda la figura 1.

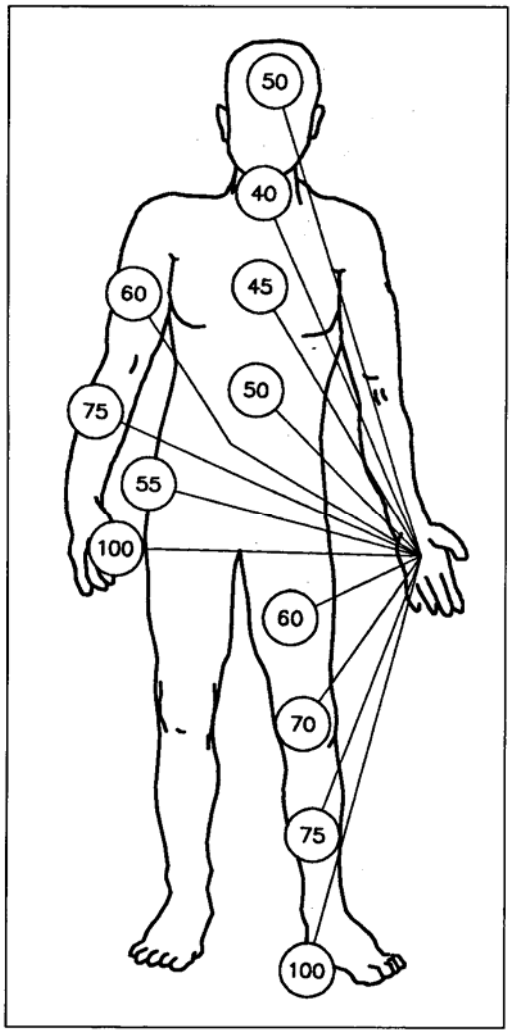


Fig. 1 - Tragitto tra una mano e la parte del corpo contraddistinta con un cerchietto, dove è indicato il valore della resistenza in percentuale della resistenza tra le due mani.

Per quanto riguarda la pericolosità della corrente in funzione del percorso occorre fare riferimento al cosiddetto “fattore di percorso” che è il “rapporto tra l’intensità del campo elettrico nel cuore per un dato percorso della corrente e l’intensità del campo elettrico nel cuore per una corrente di uguale

intensità che fluisce dalla mano sinistra ai piedi. Nota: nel cuore, la densità della corrente è proporzionale all'intensità del campo elettrico" (CEI 1335 P, Cap. 2, art. 3.4).

Percorso della corrente	Fattore di percorso
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 mani	0,7

Tab. 1 - Fattori di percorso della corrente elettrica

Una corrente di 200 mA "mano-mano" ha lo stesso effetto di una corrente di 80 mA "mano sinistra-piedi".
I contatti "torace-mano sinistra" e "torace-mano destra" hanno fattori di percorso superiori ad uno, ma sono ritenuti poco probabili in ambienti ordinari; quando questi percorsi possono verificarsi con elevata probabilità si configura appunto un luogo conduttore ristretto.

Ricapitolando la curva di sicurezza tensione di contatto a vuoto-tempo si riferisce al percorso mani-piedi, e ad una resistenza verso terra di 1000 Ohm in condizioni ordinarie (all'interno di edifici) e di 200 Ohm in condizioni particolari (all'aperto). Quando possono verificarsi con elevata probabilità percorsi più pericolosi si configura un luogo conduttore ristretto.

Il massimo rischio elettrico in luoghi conduttori ristretti si ha nell'impiego di apparecchi sostenuti durante l'uso dall'operatore (apparecchi portatili). Alla pericolosità del luogo si aggiunge quella dell'apparecchio, soggetto a guasti più frequenti di un apparecchio fisso, con maggiori probabilità che la persona sia in contatto con l'apparecchio durante il guasto; la resistenza del corpo umano è ulteriormente ridotta dalla pressione di contatto e dall'impiego di entrambe le mani (il contatto "mani-piedi" presenta lo stesso fattore di percorso del contatto "mano sinistra-piedi", ma offre una resistenza minore a parità di tensione di contatto). Queste, inoltre, contratte nello sforzo di sorreggere l'apparecchio, sono facile preda della tetanizzazione.
Per quanto riguarda la dipendenza della resistenza del corpo umano dall'area di contatto si veda la figura 2.

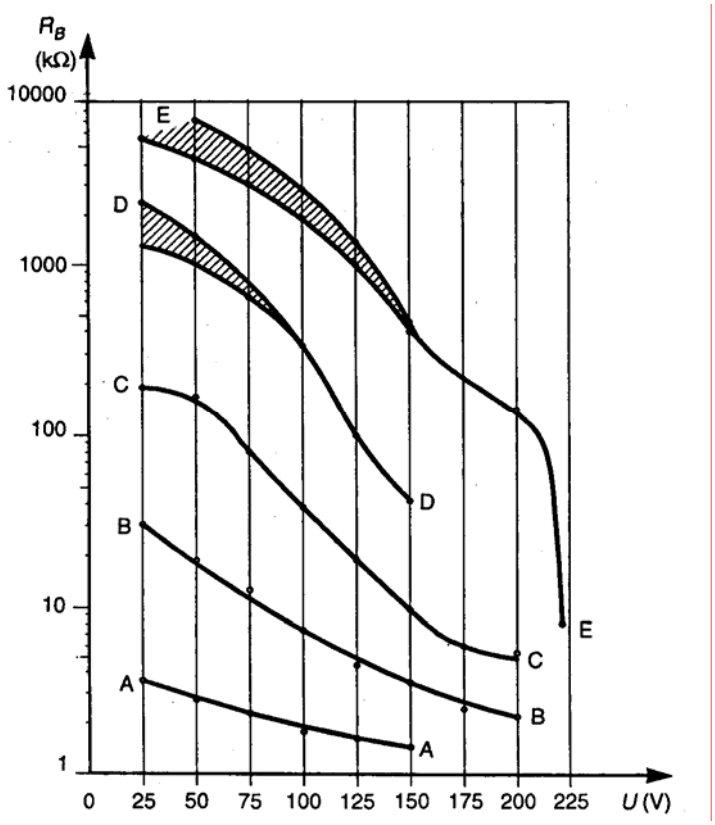


Fig. 2 - La resistenza del corpo umano diminuisce all'aumentare dell'area di contatto e della tensione di contatto:
A) area di contatto 8000 mm^2; B) area di contatto 1000 mm^2; C) area di contatto 100 mm^2; D) area di contatto l0 mm^2; E) area di contatto 1 mm^2.

La misura di protezione più adeguata in questi casi è la bassissima tensione di sicurezza, con il circuito secondario isolato per la tensione primaria.
Per le lampade portatili la tensione va limitata a 25 V; in considerazione della piccola potenza, non si hanno infatti ragioni funzionali per utilizzare tensioni maggiori. Si ha così una protezione anche nei confronti di contatti bipolari che dovessero accidentalmente verificarsi, ad esempio per rottura della lampada (nonostante la lampada sia protetta da un involucro traslucido e da una griglia protettiva).
Per gli strumenti portatili di elevata potenza, per i quali la tensione di alimentazione a 25 V non è molto adatta, il trasformatore di isolamento costituisce una buona soluzione, sempre che lo strumento portatile sia di classe II. In casi particolari si può considerare l'opportunità di utilizzare un apparecchio di classe I, alimentato da un trasformatore di isolamento, e connesso alle masse estranee locali.
Naturalmente il trasformatore d'isolamento deve rimanere fuori del luogo conduttore ristretto, ad evitare il pericolo costituito dal primario del trasformatore alimentato dalla rete. Se in luogo del trasformatore d'isolamento si utilizza un gruppo elettrogeno, questo può entrare nel luogo conduttore ristretto, fumi di scarico permettendo, poiché il pericolo suddetto viene meno.
Va sottolineato che il trasformatore di isolamento può favorire l'errore umano; l'operatore può involontariamente, o deliberatamente, dimenticare il trasformatore d'isolamento scomodo da trasportare, e allacciare direttamente l'apparecchio alla rete, il che è invece impossibile se lo strumento è alimentato a tensione ridotta. Per scoraggiare un tale errore occorrerebbe che la presa alimentata dal trasformatore d'isolamento e la corrispondente spina dell'apparecchio utilizzatore non fossero intercambiabili con le altre prese a spina utilizzate nell'ambito dello stesso impianto utilizzatore.

Bibliografia

[1] V. Carrescia, Fondamenti di sicurezza elettrica, Torino, 1999

[2] Tuttonormel – Impianti a norme CEI n.1 Edifici Civili, Torino, 1993.

[3] V. Carrescia, Elettroquesiti 6 La regola d’arte elettrica, Torino, 2003.

[4] Tuttonormel n.4 aprile 2003.

[5] R. Sasdelli , “Appunti del corso di Misure e Collaudo di Macchine ed Impianti Elettrici”

Impianti elettrici nei cantieri

CEI 64-8/7, art. 704.1.1:

Per cantiere edile si intende il luogo dove si svolgono:
- lavori di costruzione di nuovi edifici;
- lavori di riparazione, trasformazione, ampliamento o demolizione di edifici esistenti;
- opere pubbliche;
- lavori di movimentazione di terra;
- lavori simili.

L'impianto elettrico di cantiere è per sua natura temporaneo e i componenti elettrici sono spesso riutilizzati in più cantieri. Si pone quindi il problema di verificare non solo la conformità dei componenti alle norme, ma anche la loro idoneità e lo stato di manutenzione. Inoltre i componenti elettrici idonei per un cantiere potrebbero non esserlo per un altro cantiere. Ad esempio, un quadro elettrico con interruttori automatici con potere di cortocircuito (di interruzione) adatto per un piccolo cantiere, dove le correnti di cortocircuito sono limitate, potrebbe non essere adatto in un grande cantiere dove le correnti di cortocircuito sono più elevate. Non devono essere riutilizzati i materiali che siano in cattivo stato di manutenzione. Particolare cura deve essere posta nel controllo dei cavi flessibili, soggetti a facile deterioramento. In ogni caso, si consiglia di non riutilizzare cavi flessibili che siano già stati utilizzati per uso mobile per un periodo superiore a tre o quattro anni. Lo stesso controllo deve essere esercitato sui componenti elettrici (quadri, apparecchi portatili, prese a spina, ecc.) introdotti nel cantiere dalle varie imprese. Si ricorda infine il controllo periodico degli eventuali apparecchi autonomi per l'illuminazione di sicurezza.

La funzionalità e la consistenza dell'impianto elettrico di cantiere sono funzione della durata e delle dimensioni del cantiere e pur non essendo richiesto dalla legge 46/90 nessun tipo di progetto, è sempre raccomandabile, almeno per i cantieri di dimensioni considerevoli, approntare una documentazione completa (schemi dei quadri, dimensionamento protezione e posa delle condutture, misure di protezione dai contatti diretti e indiretti e schema dell'impianto di terra) delle principali caratteristiche dell'impianto. Il progetto potrebbe essere invece richiesto dal responsabile della sicurezza nei cantieri assoggettati al D.lgs. 494/96 riguardante la sicurezza e l'igiene del lavoro.
In ogni caso l'installatore è tenuto al rilascio della dichiarazione di conformità, corredata degli allegati obbligatori.

Il cantiere edile costituisce un ambiente a maggior rischio elettrico, perché in esso sussistono tutte le condizioni ambientali che rendono la persona più vulnerabile all'energia elettrica e nel contempo si moltiplicano le occasioni di guasto per gli apparecchi. Infatti l'impianto elettrico:
- è soggetto a sollecitazioni meccaniche, termiche e d'uso molto severe;
- è per sua natura provvisorio e in continua evoluzione per soddisfare le mutevoli esigenze di lavoro;
- è utilizzato da una moltitudine di persone appartenenti a ditte diverse con mansioni e competenze separate che rendono arduo il coordinamento dei mezzi e il controllo degli uomini.

I componenti degli impianti devono essere di tipo adatto all'impiego nel cantiere edile con particolare riferimento agli urti meccanici, alle vibrazioni, alle sollecitazioni termiche e al grado di protezione contro la penetrazione dei corpi solidi e dei liquidi (grado di protezione minimo IP43). La distribuzione deve avvenire tramite quadri elettrici principali e secondari espressamente previsti

per l'uso in cantieri edili. Le porte dei quadri, che diano accesso a parti attive, devono essere dotate di un dispositivo che impedisca l'apertura della porta se l'interruttore generale è chiuso, e impedisca la chiusura dell'interruttore se la porta è aperta (interblocco).
Devono essere predisposti dispositivi per l'interruzione di emergenza; gli apparecchi la cui manutenzione può presentare pericoli a seguito di azionamento intempestivo, esempio gru a torre, devono essere dotati di dispositivi per l'interruzione per motivi non elettrici (chiudibili a chiave).
Nei confronti dei contatti indiretti si applica la curva in condizioni particolari:

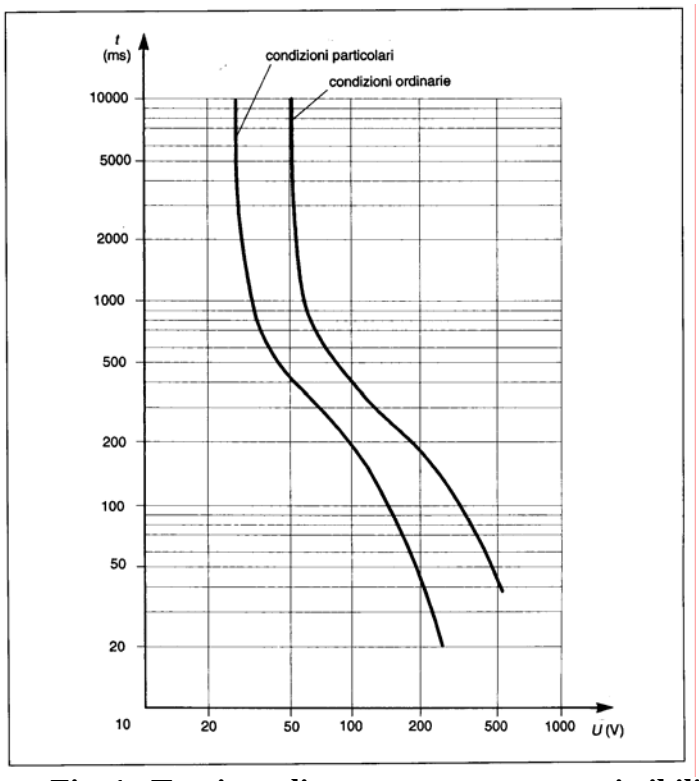


Fig. 1 –Tensione di contatto a vuoto ammissibili.

Nei sistemi TT il coordinamento tra resistenza di terra e dispositivi di protezione va quindi riferito alla tensione convenzionale limite U_L = 25 V, anziché 50 V:

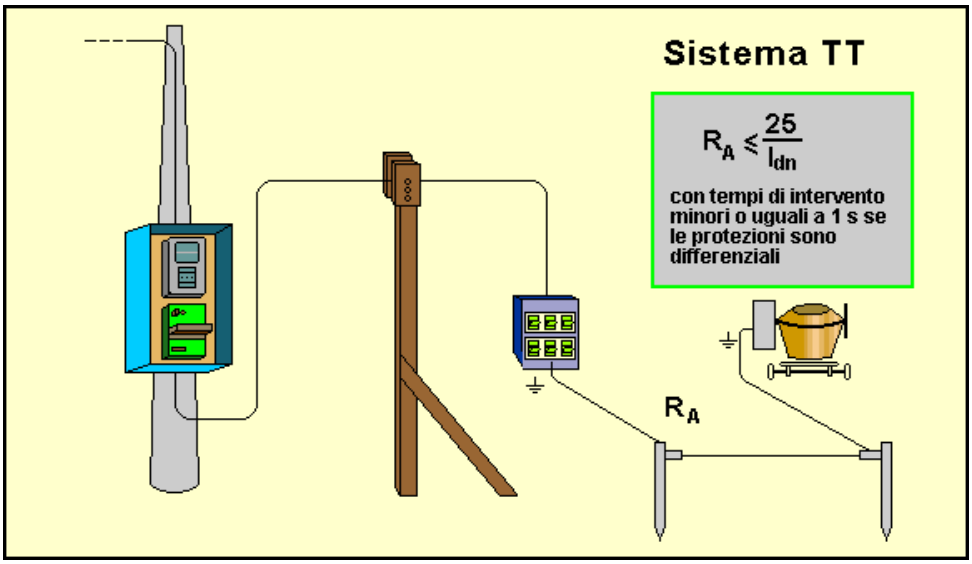


Fig. 2 – Alimentazione in BT da rete pubblica.

Nei sistemi TN il tempo d'interruzione di 0,4 s scende a 0,2 s. Nei sistemi TN-S i dispositivi di protezione a massima corrente vanno integrati con dispositivi differenziali, perché non è conseguibile una soddisfacente equipotenzialità nei confronti del terreno; inoltre l'uso di cavi flessibili di notevole lunghezza rende problematica la determinazione a priori dell'impedenza dell'anello di guasto. I sistemi TN-C non sono adatti per i cantieri, poiché le sollecitazioni meccaniche aumentano il pericolo di interruzione del conduttore di neutro.

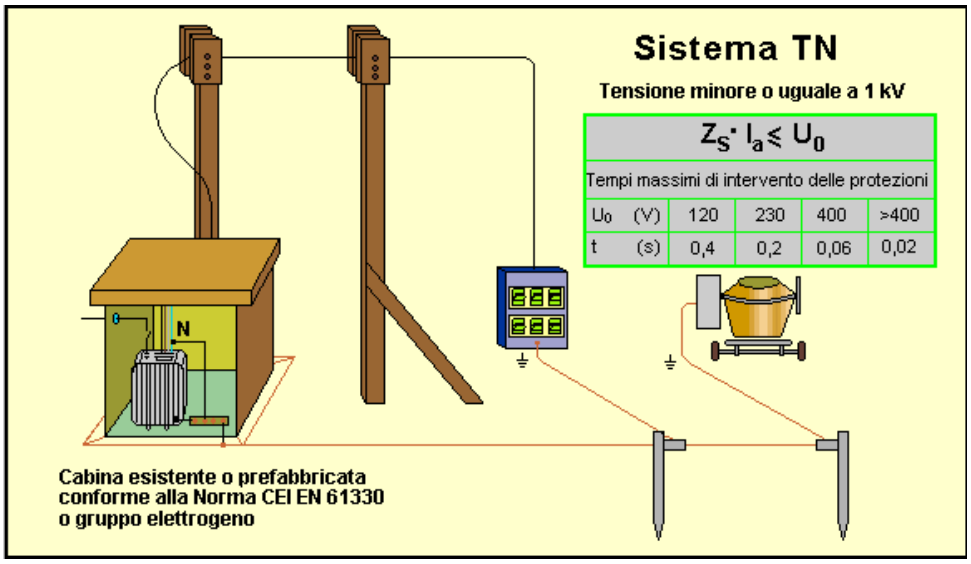


Fig. 3 – Alimentazione in MT da rete pubblica.

Va infine ricordato che nei cantieri edili un grave pericolo è rappresentato dal contatto con linee aeree, ad esempio nelle manovre di autogru, camion ribaltabili, ponti sviluppabili, scale, e dal contatto di cavi interrati nelle operazioni di scavo.
Se la distanza della linea aerea è inferiore a 5 m dalla costruzione o dal ponteggio (DPR 64/56, art. 11) o dai mezzi di lavoro occorre in collaborazione con il distributore attuare uno dei seguenti provvedimenti:
- spostare o mettere fuori tensione la linea,
- isolare il tratto di linea, se in bassa tensione,
- delimitare la zona di lavoro, ad esempio della gru a torre,
- mettere in opera ostacoli o portali di segnalazione.

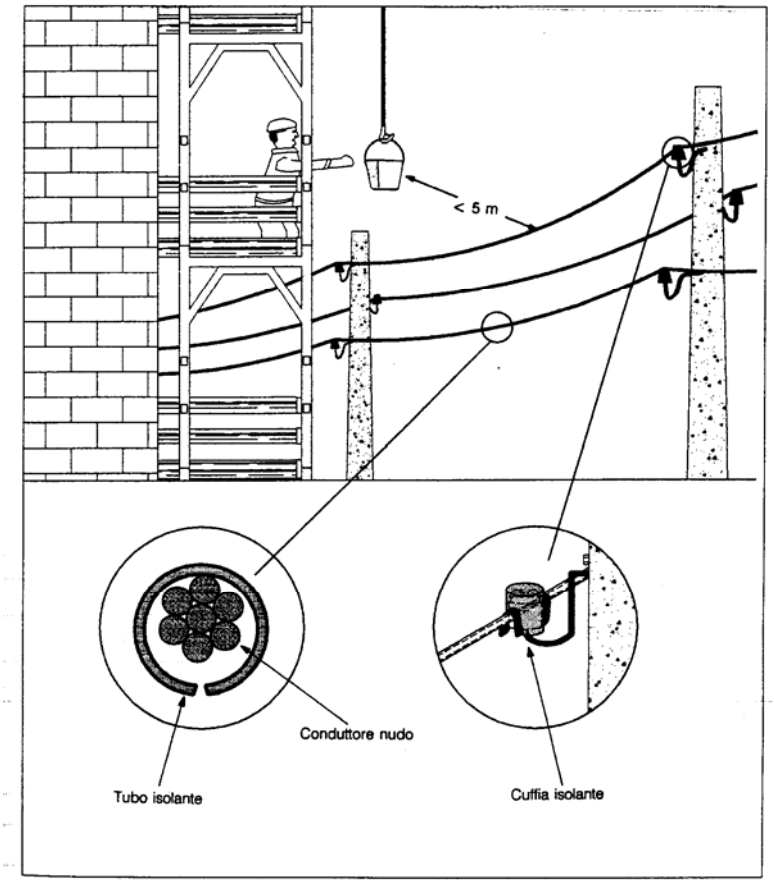


Fig. 4 – Esempio di isolamento di una linea elettrica esterna di bassa tensione, situata a meno di 5 m dalla zona di lavoro.

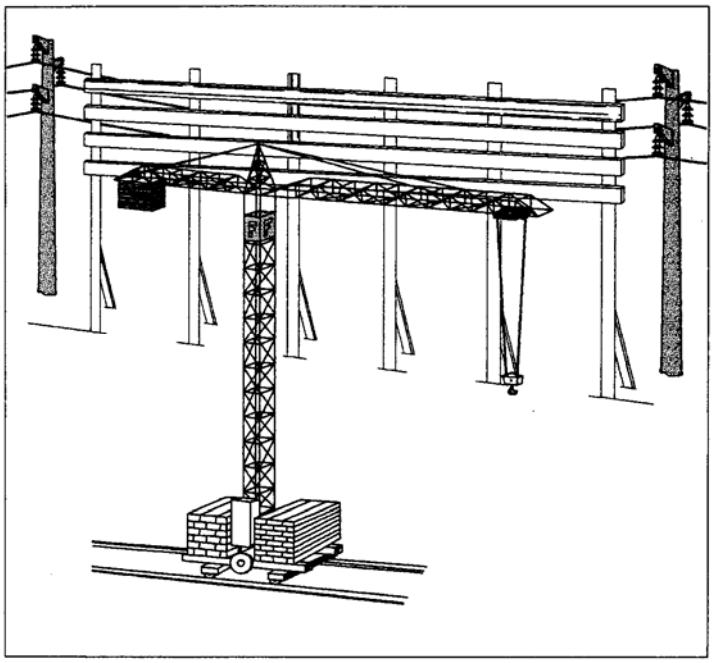


Fig. 5 – Esempio di schermatura nei confronti di una linea elettrica aerea esterna in media tensione.

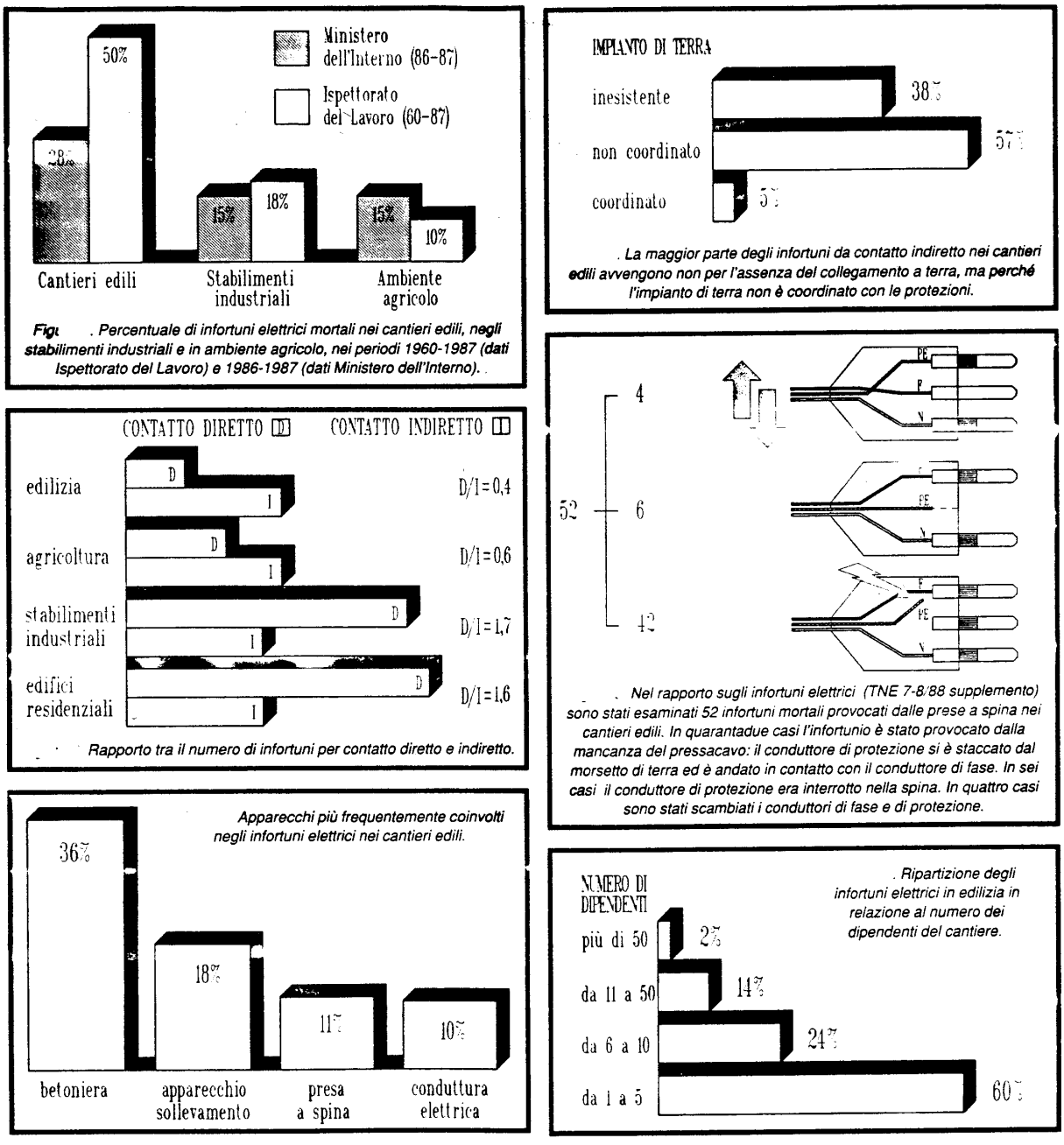


Figura . Percentuale di infortuni elettrici mortali nei cantieri edili, negli stabilimenti industriali e in ambiente agricolo, nei periodi 1960-1987 (dati Ispettorato del Lavoro) e 1986-1987 (dati Ministero dell'Interno).

. La maggior parte degli infortuni da contatto indiretto nei cantieri edili avvengono non per l'assenza del collegamento a terra, ma perché l'impianto di terra non è coordinato con le protezioni.

Rapporto tra il numero di infortuni per contatto diretto e indiretto.

Nel rapporto sugli infortuni elettrici (TNE 7-8/88 supplemento) sono stati esaminati 52 infortuni mortali provocati dalle prese a spina nei cantieri edili. In quarantadue casi l'infortunio è stato provocato dalla mancanza del pressacavo: il conduttore di protezione si è staccato dal morsetto di terra ed è andato in contatto con il conduttore di fase. In sei casi il conduttore di protezione era interrotto nella spina. In quattro casi sono stati scambiati i conduttori di fase e di protezione.

Apparecchi più frequentemente coinvolti negli infortuni elettrici nei cantieri edili.

. Ripartizione degli infortuni elettrici in edilizia in relazione al numero dei dipendenti del cantiere.

Fig. 6 – Statistiche sugli infortuni elettrici nei contieri.

Prese a spina

CEI 64-8/2, art. 21.1:

Negli ambienti ordinari l'impianto elettrico termina alle prese a spina, perché la parte a valle è in genere fornita dall'utente. Nei cantieri, invece, una parte importante della distribuzione elettrica è situata a valle delle prese a spina: basti pensare ai cavi flessibili che dai quadretti prese alimentano gli apparecchi utilizzatori. Per questo motivo, nei cantieri, per impianto elettrico si intende sia la parte fissa, sia quella mobile.

Le prese a spina costituiscono, dal punto di vista della sicurezza elettrica, uno dei punti critici dell'impianto elettrico di cantiere. Più del 10% di tutti gli infortuni elettrici nei cantieri edili sono provocati dalle prese a spina. Le prese a spina di tipo mobile, cosiddette prese a spina volanti, devono essere ad uso industriale, conformi cioè alla norma CEI 23-12.

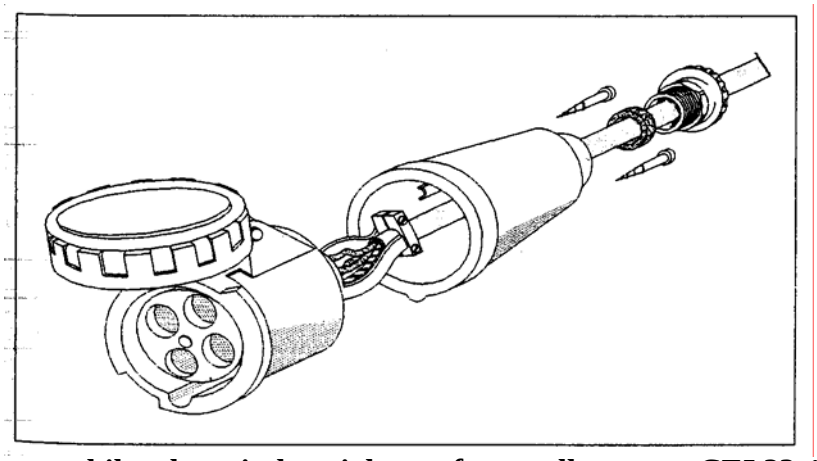


Fig.7 – Presa mobile ad uso industriale, conforme alla norma CEI 23-12 (tipo CEE).

Le prese a spina non conformi alla norma possono provocare infortuni mortali. Un esempio classico, e purtroppo frequente, è schematizzato in figura 8. Nella spina senza pressacavo, il conduttore di protezione sollecitato a trazione si distacca dal morsetto e va in contatto con il conduttore di fase: la carcassa dell'apparecchio, ad esempio la betoniera, non è più collegata a terra e assume la tensione di fase.
La presa a spina deve avere grado di protezione almeno IP43, sia a spina inserita che a spina disinserita (CEI 17-13/4, art. 7.2.1.3).
Le prese a spina possono essere soggette a getti d'acqua o trovarsi accidentalmente in pozze d'acqua, è quindi opportuno adottare prese con grado di protezione IP67.
Le prese a spina per uso domestico e similare non sono adatte per essere utilizzate nei cantieri, perché non hanno il necessario grado di protezione e non sono resistenti agli urti.
Sembra tuttavia tollerabile l'uso di prese di tipo domestico installate nei quadri per cantiere, qualora siano protette dagli urti e dalle proiezioni d'acqua dall'involucro del quadro stesso. Ciò è utile nei piccoli cantieri per utilizzare strumenti portatili, ad esempio trapani, dotati per costruzione di spine, indissolubili dal cavo di tipo domestico, specie quando tali strumenti portatili siano utilizzati da artigiani che lavorano anche al di fuori dei cantieri.

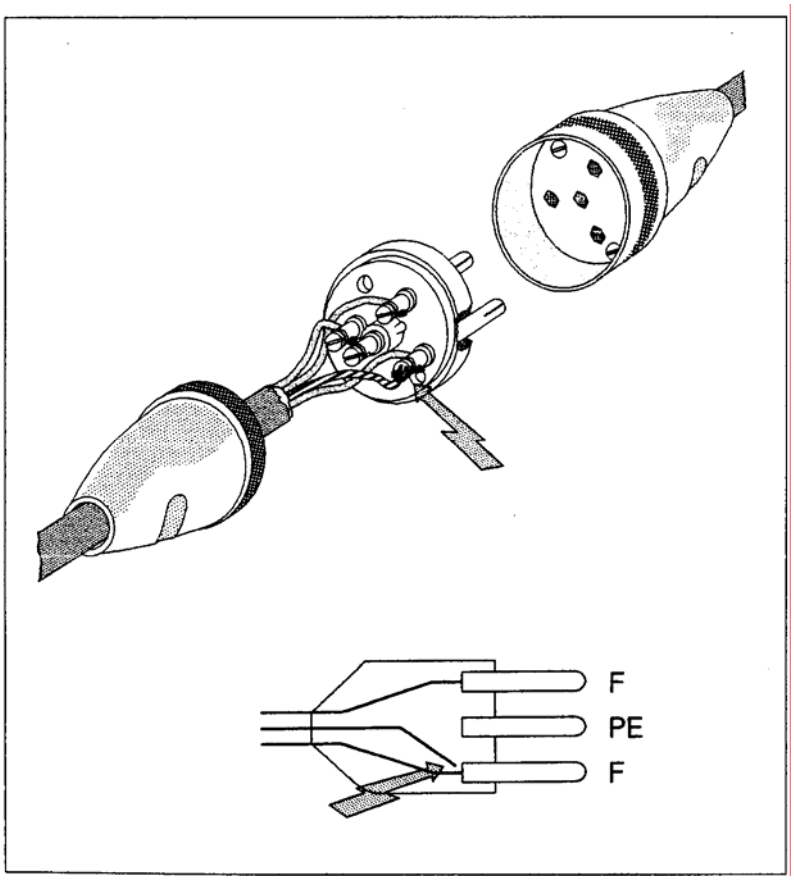


Fig. 8 – Nella spina del tipo indicato in figura il conduttore di protezione, sollecitato a trazione per la mancanza del pressacavo, si stacca dal proprio morsetto e va in contatto con il conduttore di fase mettendo in tensione la carcassa dell'apparecchio alimentato.

Le prese a spina devono essere protette da un interruttore differenziale con I_{dn} minore o uguale a 30 mA.
Dall'aprile 1998 non è più vietato proteggere più di 6 prese con un solo differenziale, ma resta opportuno contenere il numero di prese protette dallo stesso differenziale per evitare disservizi troppo estesi.

In alternativa all'interruttore differenziale le prese possono essere alimentate da un trasformatore di isolamento (trasformatore realizzato secondo particolari criteri di sicurezza per evitare un guasto tra gli avvolgimenti), o da un da un trasformatore di sicurezza, ad esempio per alimentare lampade portatili o proiettori trasportabili, figura 9.
Le prese e le spine per circuiti SELV sono di colore diverso e tali da non essere intercambiabili con le altre prese a spina.
Si ricorda che ove la protezione contro i contatti indiretti avvenga per separazione (trasformatore di isolamento o di sicurezza) il collegamento a terra delle masse potrebbe indurre tensioni pericolose dovute a guasti di altri apparecchi alimentati direttamente dalla rete, il collegamento intenzionale a terra delle masse separate è pertanto proibito dalla norma. Analogo divieto per gli apparecchi di classe II (a doppio isolamento): la probabilità che sulla massa siano riportate tensioni pericolose per l'inefficienza dell'impianto di terra o a causa di prese a spina difettose è maggiore della probabilità di cedimento dell'isolamento doppio o rinforzato.

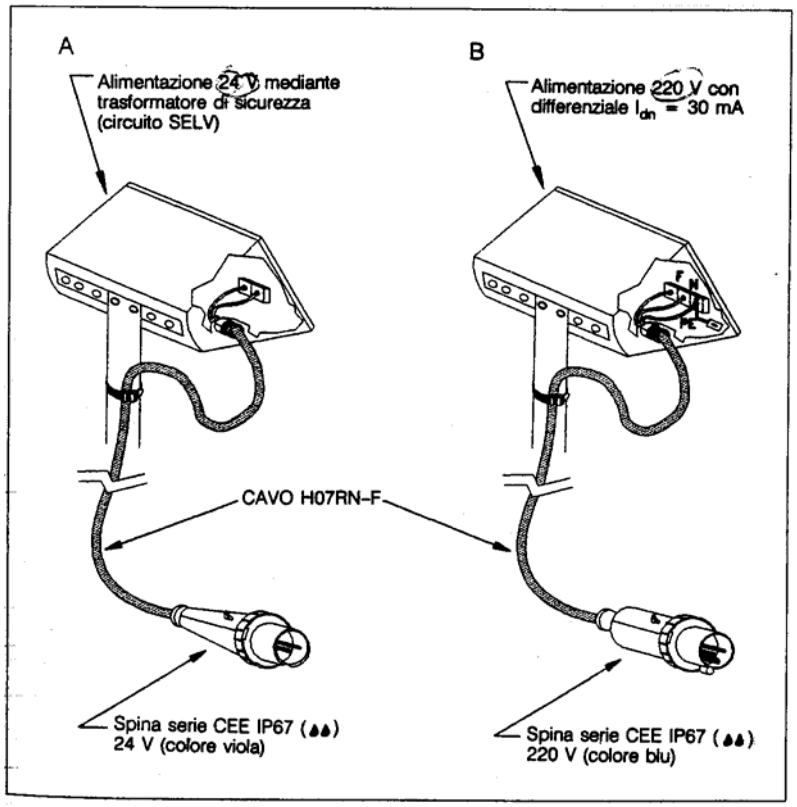


Fig. 9 – Apparecchi di illuminazione trasportabili: A) alimentazione a bassissima tensione di sicurezza; B) alimentazione a 220 V.

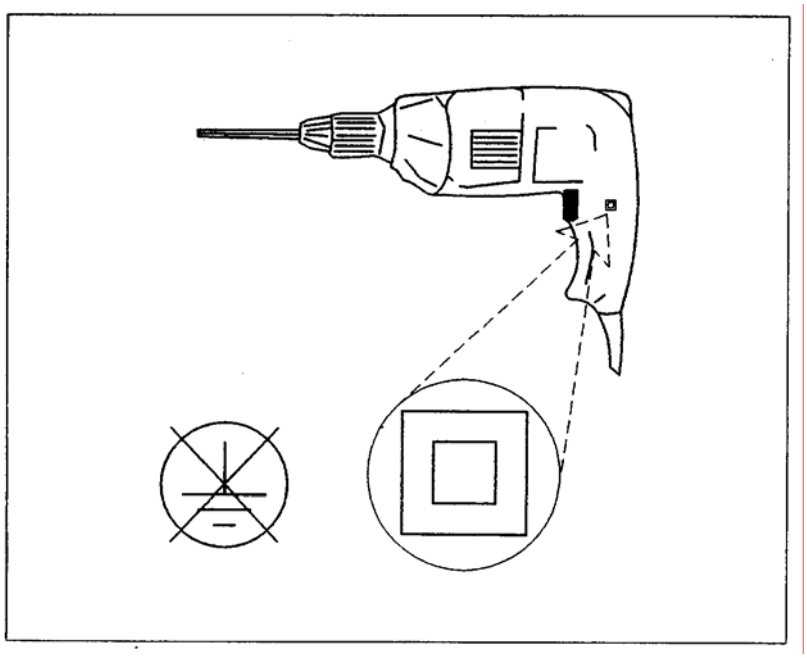


Fig. 10 - Gli apparecchi con isolamento doppio o rinforzato (classe II) portano in targa il simbolo del doppio quadrato. È proibito collegare a terra gli apparecchi di classe II.

Quadri elettrici

La norma CEI 17-13/1, distingue i quadri elettrici in AS (Apparecchiature di Serie) e ANS (Apparecchiature Non di Serie). I quadri AS e ANS differiscono fra loro soprattutto per le prove a cui devono essere sottoposti.
Nei cantieri sono ammessi solo quadri elettrici costruiti in serie AS. I quadri per i cantieri (CEI 17-13/4, art. 8.2.8 e 8.2.9) sono denominati ASC (Apparecchiature di Serie per Cantiere); per i quadri ASC sono previste prove aggiuntive di resistenza meccanica e alla corrosione.

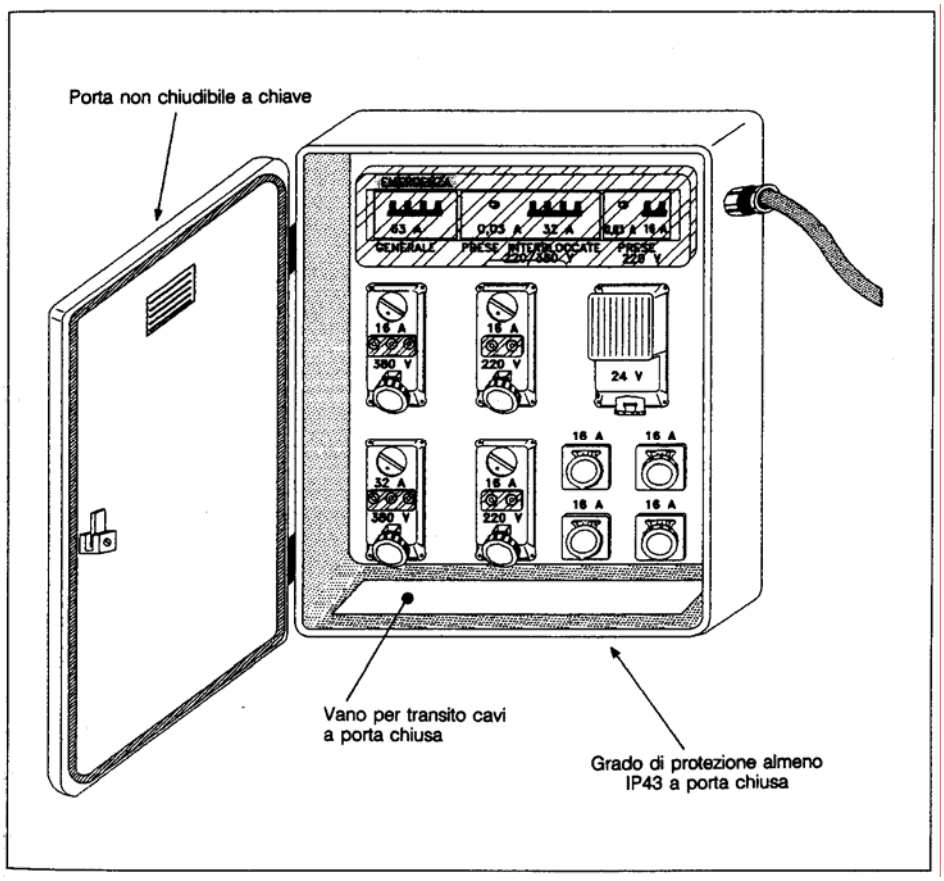


Fig. 11 - Quadro di cantiere con prese all'interno: l'apposito vano per il transito dei cavi nella parte inferiore del quadro permette l'esercizio a porta chiusa. Se nel funzionamento ordinario la porta non può essere chiusa, deve essere garantito il grado di protezione IP43 anche a porta aperta.

I quadri elettrici di cantiere devono avere un grado di protezione almeno IP43. Il grado di protezione va inteso con l'entrata dei cavi effettuata a regola d'arte e con la porta chiusa se il quadro è previsto per funzionare con la porta chiusa.
Per chiudere la porta devono essere previste apposite asole nella parte inferiore del quadro, per permettere il passaggio dei cavi, fig. 11.

I dispositivi di sezionamento (di apertura del circuito atta a garantire la sicurezza del personale che esegue lavori elettrici su, o in vicinanze di, parti attive) devono essere chiaramente identificati, ad esempio per mezzo di apposita etichetta che indichi il circuito su cui sono installati.

Ad evitare che il circuito sia richiuso intempestivamente durante l'esecuzione di lavori elettrici, gli interruttori devono essere singolarmente dotati di blocco nella posizione di aperto, fig. 12, oppure devono essere posti entro un quadro chiudibile a chiave, fig. 13.
Gli interruttori di cui sopra sono utilizzati anche ai fini dell'interruzione del circuito per manutenzione non elettrica, cioè per interrompere l'alimentazione di apparecchi che possono comportare rischi meccanici per le persone a seguito di azionamento intempestivo, ad esempio durante la manutenzione meccanica alla gru, alla sega circolare, ecc.

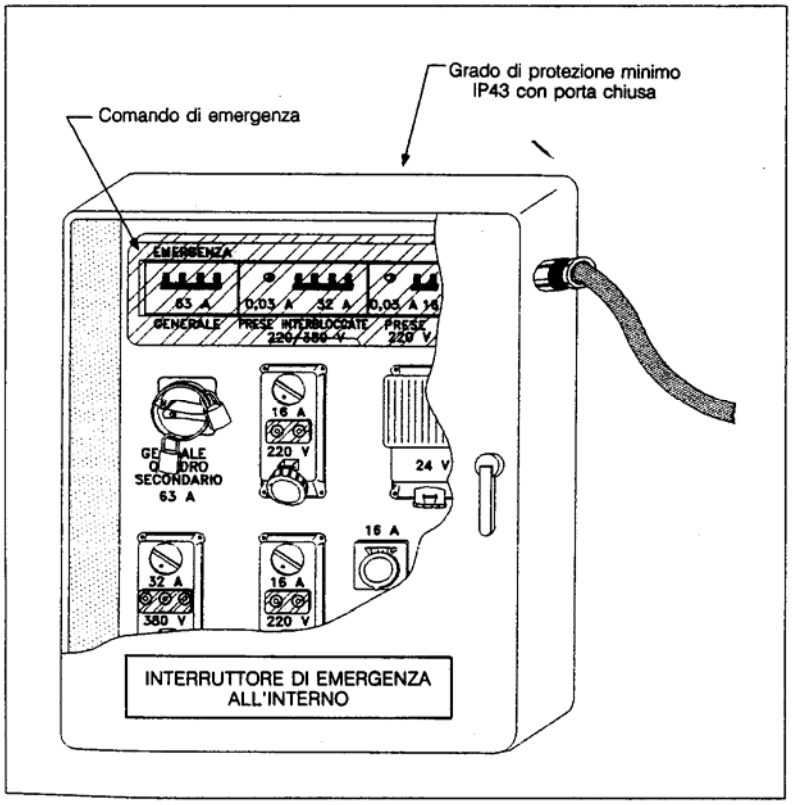


Fig. 12 - Esempio di quadro generale di cantiere con porta non chiudibile a chiave. Interruttore generale con.funzioni di comando di emergenza all'interno del quadro. Interruttore per l'alimentazione del quadro secondario lucchettabile; il sezionamento degli altri circuiti si attua tramite prese a spina.

È opportuno predisporre un comando di emergenza sul quadro generale e sui quadri secondari (di zona).
In un cantiere, il comando di emergenza ha lo scopo di interrompere rapidamente l'alimentazione all'intero impianto elettrico, o a una sua parte, in caso di pericoli imprevisti: esso deve essere pertanto noto a tutte le maestranze, facilmente raggiungibile ed individuabile.
A tal fine si può anche usare l'interruttore generale del quadro (non chiudibile a chiave), ma in questo caso l'interruttore generale andrà individuato con apposita targa, fig. 12.

Nei quadri chiudibili a chiave non è possibile utilizzare l'interruttore generale come comando di emergenza, perché questo deve essere prontamente accessibile. Il comando di emergenza può essere allora costituito da un pulsante a fungo di colore rosso su fondo di contrasto, ad esempio giallo, che agisce sull'interruttore generale, posizionato all'esterno del quadro, fig. 13.

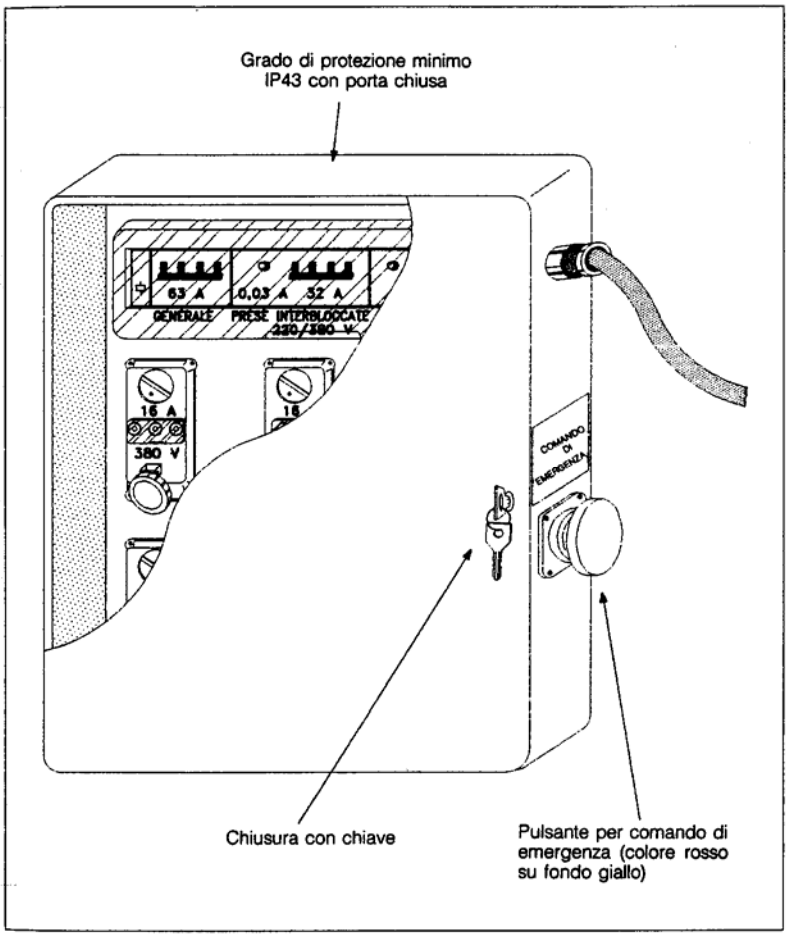


Fig. 13 - Esempio di quadro generale di cantiere: porta chiudibile a chiave e pulsante di emergenza all'esterno che agisce sull'interruttore generale.

L'arresto di emergenza è un caso particolare di comando di emergenza: ha la funzione di arrestare movimenti pericolosi di macchine quali gru, paranchi e grossi impianti di betonaggio; queste macchine sono dotate di dispositivo di arresto di emergenza, facente parte dell'equipaggiamento elettrico a bordo macchina.

Il comando funzionale ha lo scopo di chiudere o aprire un circuito, per avviare o arrestare il funzionamento di un apparecchio, o di una parte dell'impianto. L'interruzione funzionale nei circuiti monofasi, ad esempio per l'accensione della luce in baracca, può essere unipolare, purché l'interruttore sia inserito sul conduttore di fase.
Il comando funzionale per l'avviamento delle macchine di cantiere è generalmente costituito da interruttori o da contattori (teleruttori), fig. 14, il dispositivo di comando funzionale di macchine che presentano pericoli se messe in moto intempestivamente, ad esempio sega circolare, betoniera, paranchi, gru, ecc, deve essere tale che al mancare dell'alimentazione si apra il circuito. In tal modo il ritorno dell'alimentazione non provoca la rimessa in moto automatica della macchina, con i pericoli che ne derivano, ma per riavviare la macchina occorre l'intervento dell'operatore.
Un esempio di comando marcia-arresto, che soddisfa tali requisiti, è riportato in fig. 15.
Se il comando a bordo macchina non corrisponde ai suddetti requisiti occorre provvedere intervenendo sull'impianto di alimentazione.

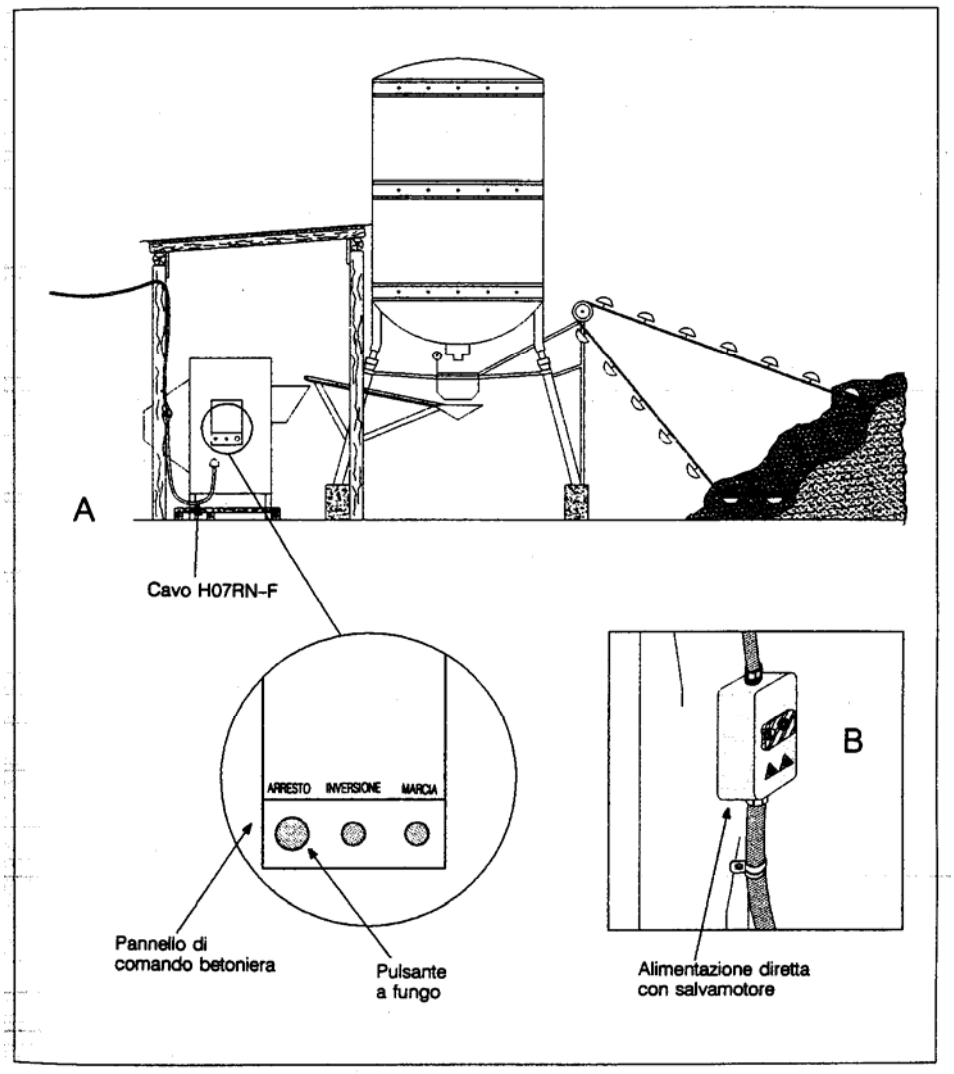


Fig. 14 - Comando funzionale per impianto di betonaggio; A) alimentazione da presa a spina e quadro di comando (avviatore e pulsante di marcia/arresto); B) in alternativa alla soluzione A, si può realizzare un'alimentazione diretta tramite salvamotore con relè di minima tensione.

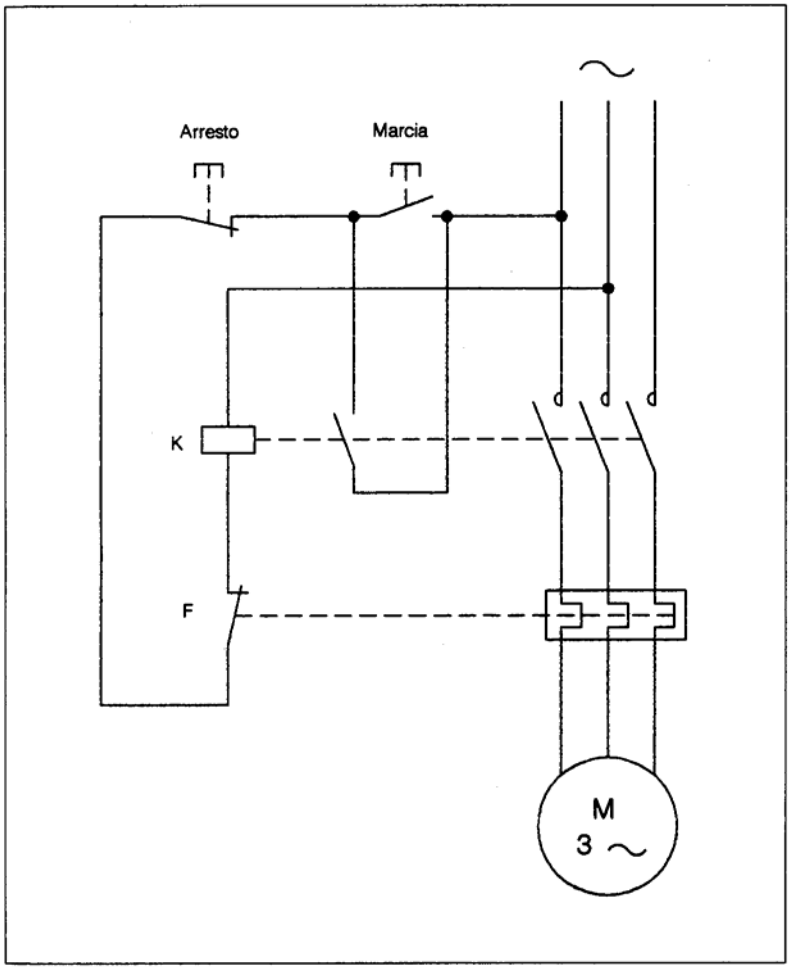


Fig 15 - Il comando di un motore tramite contattore e pulsanti di marcia e arresto, impedisce il riavviamento intempestivo del motore dopo una mancanza, o abbassamento di tensione.

Posa dei cavi

Per scegliere la sezione del conduttore di un cavo bisogna conoscere la portata del cavo I_Z, la corrente alla quale viene impiegato I_B e la sua lunghezza per limitare la caduta di tensione.

CEI 64-8/2, art. 25.5:
La portata di un cavo è il più elevato valore di corrente che a regime il cavo può condurre, in condizioni di installazione determinate, senza superare la massima temperatura di servizio (o di funzionamento) caratteristica del tipo di isolante.

La portata del cavo dipende dalla sezione, dal tipo di conduttore e di isolante, dalla temperatura ambiente e dalle altre condizioni di posa.
Nei cantieri i cavi sono spesso sottoposti ad irraggiamento solare, il quale innalza la temperatura del cavo al di sopra della temperatura ambiente, riducendone così, in teoria, la portata.
In pratica non è necessario ridurre la portata dei cavi per irraggiamento solare.
Infatti, la portata è la corrente che può condurre il cavo in modo continuo per 20-30 anni, ma nei cantieri il cavo, anche se riutilizzato, non dura mai per tanto tempo. Lo stesso dicasi per i cavi accostati, per i quali non sembra il caso di introdurre coefficienti riduttivi della portata.

Si intendono per posa fissa i cavi destinati a non essere spostati durante la vita del cantiere, ad esempio nel tratto che va dal contatore di energia elettrica al quadro generale.
I cavi per posa mobile sono invece soggetti a spostamenti (cavi per uso mobile), ad esempio il cavo che alimenta il quadro prese a spina o un apparecchio trasportabile.

CEI 64-8/5, art. 522.1.2:
I cavi isolati in pvc, o con guaina in pvc, non sono adatti per posa mobile nei cantieri, perché il pvc per temperature inferiori a 0 °C diventa rigido, e, se piegato o raddrizzato, si fessura. Ciò non si applica ai cavi che non sono mossi durante l'uso, cioè installati in modo fisso.

I cavi a posa mobile, che alimentano cioè apparecchiature trasportabili all'interno del cantiere, devono essere possibilmente sollevati da terra e seguire percorsi brevi; non devono essere lasciati sul terreno, arrotolati in prossimità dell'apparecchio o sul posto di lavoro, con conseguente pericolo di danneggiamenti meccanici.

I cavi non devono attraversare le vie di transito all'interno del cantiere e non devono intralciare la circolazione; in alternativa, i cavi devono essere protetti contro il danneggiamento.

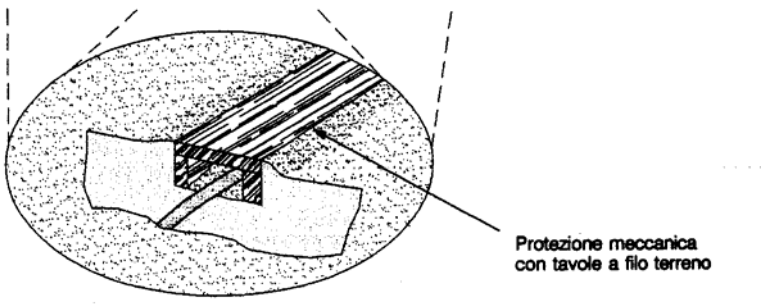


Fig 15 - Se i cavi attraversano vie di transito, o intralciano la circolazione. devono essere presi provvedimenti per evitare i danneggiamenti meccanici.

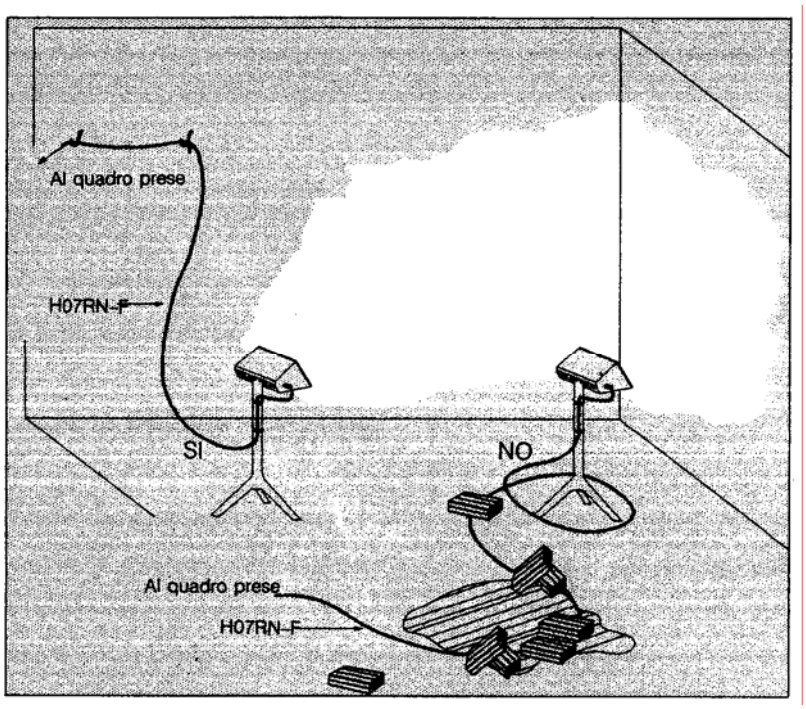


Fig. 16 - Un cavo deve essere posato in modo da essere sottratto, per quanto possibile, a danneggiamenti meccanici.

Nei cantieri le connessioni devono essere eseguite in apposite cassette con grado di protezione almeno IP44. Sono preferibili cassette di giunzione/derivazione in materiale plastico, coperchio con viti e pareti lisce non preforate.
Condizioni di posa più critiche, come l'esposizione a getti d'acqua e/o a penetrazione di polvere, richiedono un grado di protezione superiore, ad esempio IP55 (protezione contro la polvere e i getti d'acqua). Le connessioni linee aeree devono essere ridotte al minimo indispensabile e realizzate in cassette di derivazione fissate ai pali di sostegno, fig. 17.

L'ingresso dei cavi nelle cassette di derivazione e negli apparecchi utilizzatori deve essere realizzato mediante apposito pressacavo, per non compromettere il grado di protezione e per evitare che tirando il cavo siano sollecitate a trazione le connessioni dei conduttori.

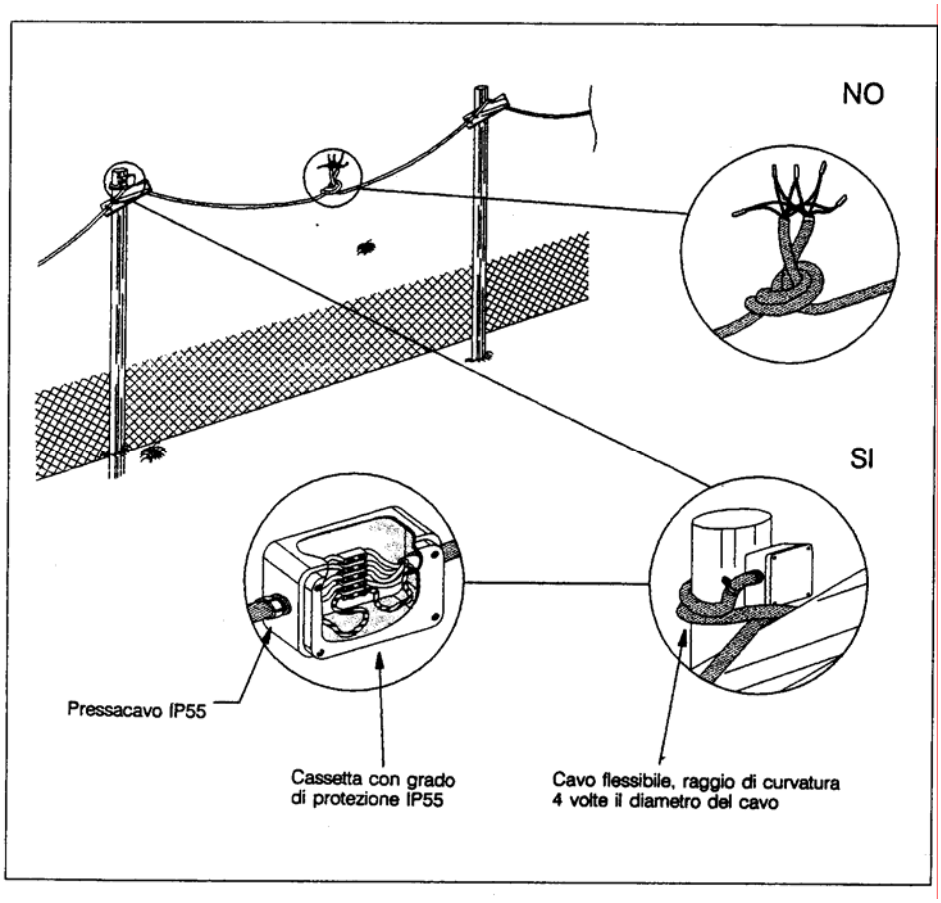


Fig. 17 - Esempio di giunzione su cavo aereo in un cantiere.

Impianto di terra

L'impianto di terra deve essere eseguito all'atto dell'installazione degli apparecchi elettrici di cantiere.

L'impianto di terra è costituito da:
- dispersore;
- nodo (o collettore) principale di terra;
- conduttori di protezione;
- conduttori di terra;
- conduttori equipotenziali principali.

Il dispersore è costituito dal complesso degli elementi disperdenti, che possono essere:
a) dispersori intenzionali (o artificiali)
b) dispersori di fatto (o naturali).

È ammesso dalle norme CEI l'uso dei ferri delle fondazioni in cemento armato come dispersori di fatto.
In genere, nella fase di allestimento del cantiere, non sono ancora stati eseguiti gli scavi e non sono quindi disponibili i dispersori di fatto (ferri della fondazione in cemento armato). Si predispongono pertanto in prossimità dei principali apparecchi utilizzatori fissi del cantiere alcuni picchetti. I picchetti devono essere posti a distanza almeno uguale alla somma delle loro lunghezze affinché siano in parallelo.
Non è necessario che i picchetti siano posti entro pozzetti ispezionabili, successivamente, i veri dispersori diventano i ferri delle fondazioni in cemento armato (terra di fondazione), fig. 18.
Un dispersore disposto ad anello nello scavo di fondazione può essere utile non solo come impianto di terra di cantiere, ma anche come impianto di terra dell'edificio in costruzione.
Le giunzioni sui dispersori devono essere ridotte al minimo indispensabile; se posate a contatto del terreno devono essere protette dalla corrosione mediante verniciatura, catramatura o nastratura.
Il contatto in ambiente umido di due metalli diversi (ad esempio zinco-rame) dà luogo a corrosione, in quanto tra i materiali si stabilisce una differenza di potenziale, la quale provoca una circolazione di corrente tramite l'elettrolita, ad esempio il terreno (pila voltaica).
Si corrode il metallo che ha un potenziale elettrochimico minore.
È bene collegare conduttori dello stesso materiale con morsetti dello stesso metallo.
Se si devono collegare conduttori di metalli diversi, occorre evitare il contatto diretto, utilizzando un morsetto o un capocorda di materiale avente potenziale elettrochimico intermedio.
Il collegamento dei ferri d'armatura all'impianto di terra può essere eseguito con legatura, o con idonei morsetti.
Il nodo (o collettore) di terra è costituito da una barra alla quale fanno capo i conduttori di protezione che collegano a terra le masse, il conduttore di terra che proviene dai dispersori e i conduttori equipotenziali che collegano le masse estranee.

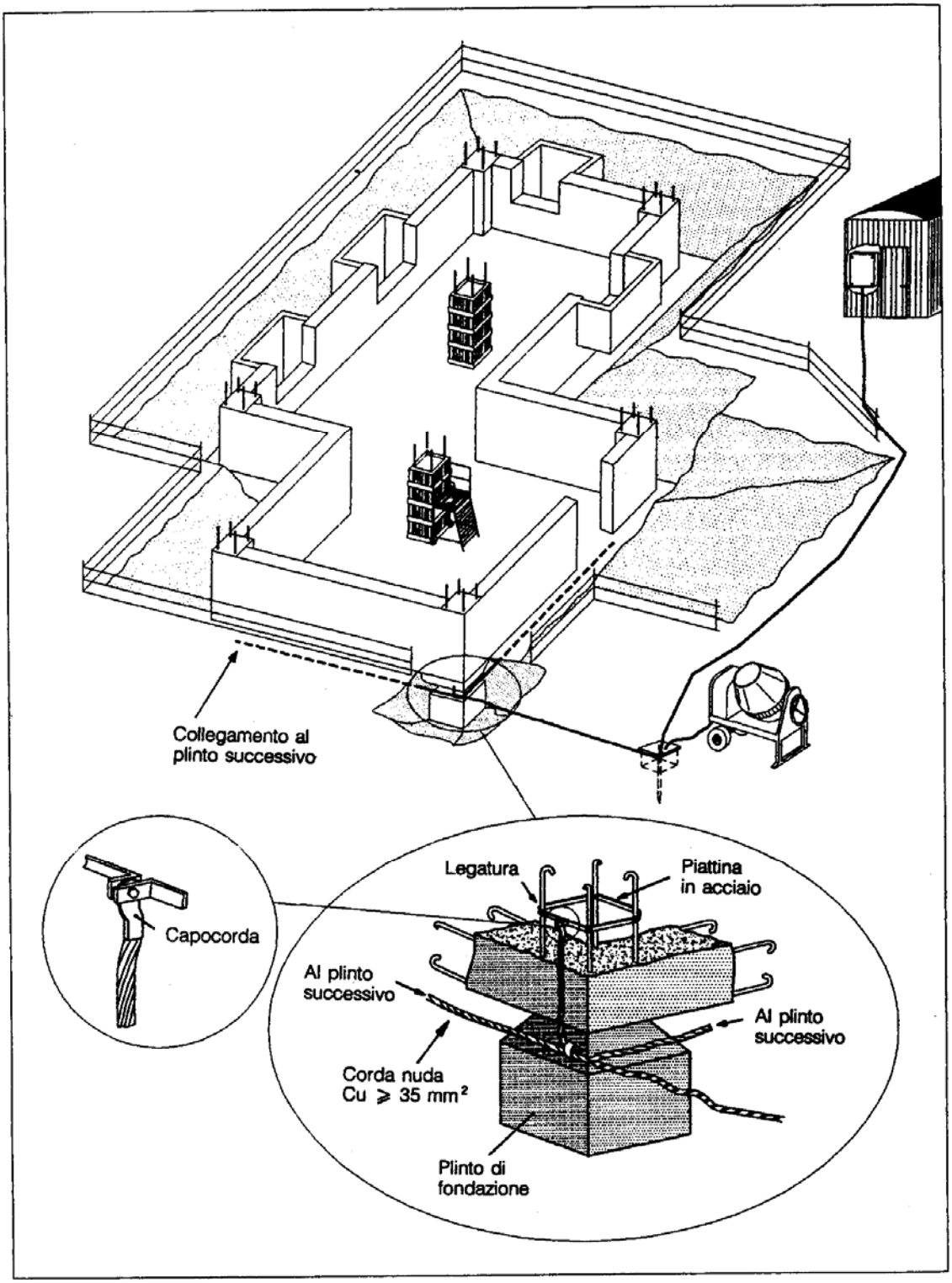


Fig.18 - Esempio di impianto di terra di fondazione.

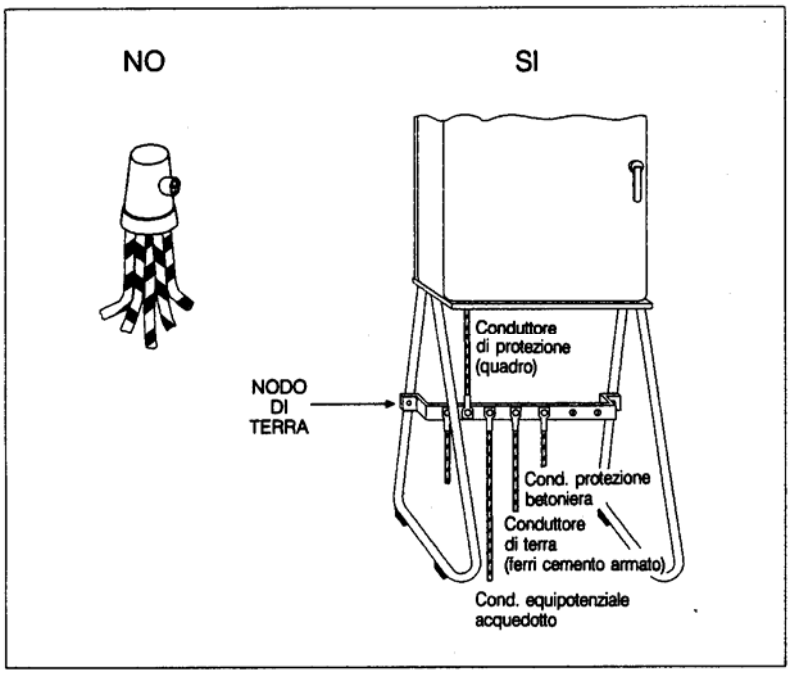


Fig. 22 - Il nodo di terra è costituito da una barra di rame a cui fanno capo il conduttore di terra, i conduttori di protezione ed i conduttori equipotenziali.

Luoghi conduttori ristretti

Per "luogo conduttore" si intende un luogo delimitato da superfici conduttrici, è "ristretto" quando le dimensioni sono tali da limitare il movimento dell'operatore e da provocare un probabile contatto con ampie parti del corpo, diverso da mani e piedi (CEI 64-8/7, art. 706.1).
Sono luoghi conduttori ristretti, ad esempio, piccole cisterne metalliche, cunicoli umidi, l'interno di tubazioni metalliche, scavi ristretti nel terreno, ecc.
Il concetto di luogo conduttore ristretto è applicabile non solo ai luoghi ma anche a situazioni in cui l'operatore è a stretto contatto, su larga parte del corpo, con superfici conduttrici, a causa del tipo di operazione compiuta; è ad esempio il caso di chi lavora con la cintura di sicurezza su di un traliccio metallico.
In alternativa al trasformatore di isolamento si può alimentare il circuito separato mediante un piccolo gruppo elettrogeno, con il sistema elettrico isolato da terra.
Gli apparecchi elettrici trasportabili (mobili e portatili) utilizzati nei luoghi conduttori ristretti devono essere alimentati a bassissima tensione di sicurezza, oppure devono essere protetti per separazione elettrica: un apparecchio per ogni trasformatore di isolamento, fig. 23, oppure due apparecchi purché il trasformatore di isolamento abbia gli avvolgimenti secondari distinti, fig. 24 (CEI 64-8/7, art. 706.471.2 a).
Per le lampade portatili utilizzate nei luoghi conduttori ristretti è ammessa unicamente la bassissima tensione di sicurezza, fig. 25 (CEI 64-8/7, art. 706.471.2 b).
Sia il trasformatore d'isolamento, sia il trasformatore di sicurezza devono essere tenuti all'esterno del.luogo conduttore ristretto, a causa del pericolo rappresentato dal primario alimentato direttamente dalla rete (CEI 64-8/7, art. 706.471.2.2).
Un circuito è a bassissima tensione di sicurezza (SELV) quando ha i seguenti requisiti (CEI 64-8/4, art. 411.1):
- ha una tensione non superiore a 50 V in alternata;

- è alimentato da un trasformatore di sicurezza (CEI 14-6) o altra sorgente di sicurezza equivalente, ad esempio una batteria di accumulatori;
- non ha alcun punto collegato a terra;
- è separato dagli altri circuiti da un isolamento doppio o rinforzato, o da uno schermo collegato a terra.

È proibito collegare a terra gli apparecchi alimentati a bassissima tensione di sicurezza, in analogia a quanto già detto per gli apparecchi di classe II (CEI 64-8/4, art. 411.1.4.1).

Nei luoghi bagnati o molto umidi (ad esempio negli scavi di ampie dimensioni, nelle operazioni di vibratura del cemento armato ove l'operatore si trova con i piedi completamente immersi nel getto di cemento) le condizioni di pericolo sono minori rispetto a quelle dei luoghi conduttori ristretti, ma si consiglia di usare le stesse misure di sicurezza previste per i luoghi conduttori ristretti, anche per ragioni di unificazione degli apparecchi.

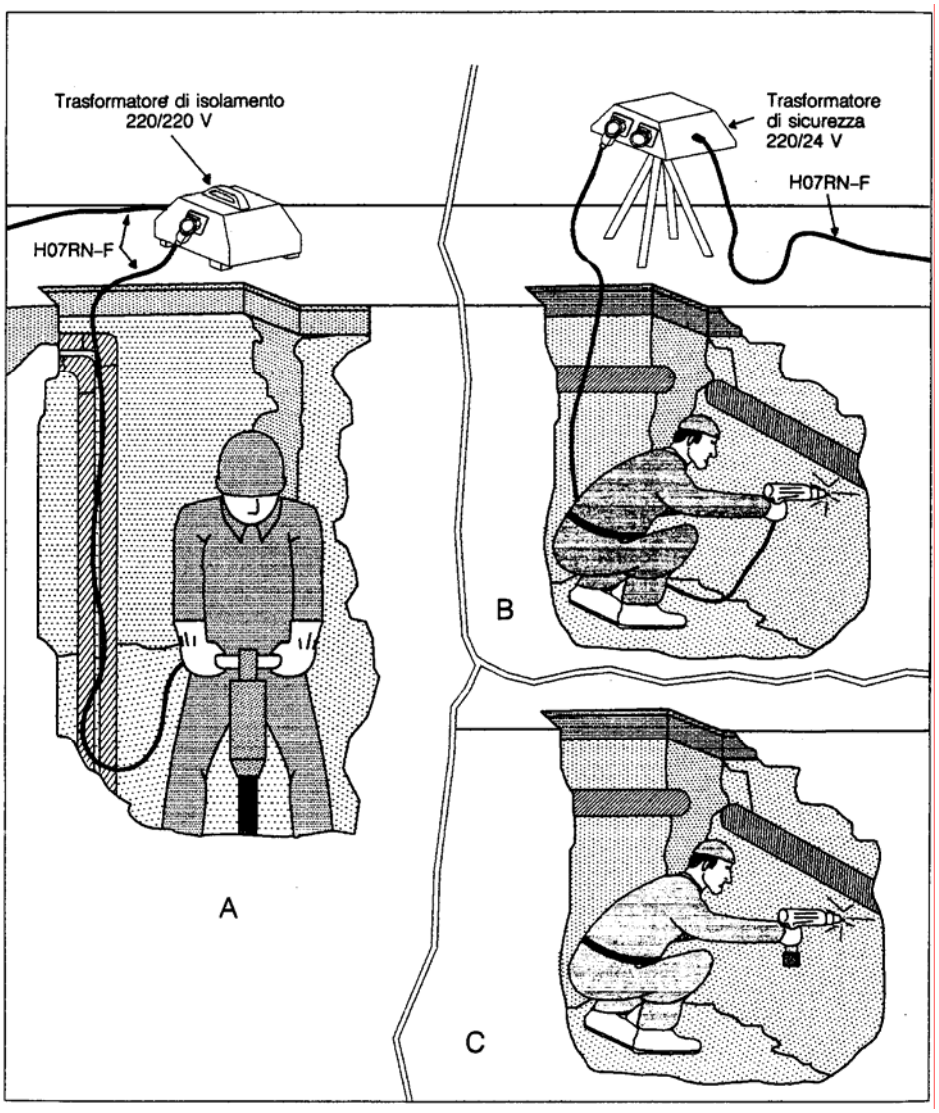


Fig. 23 - Nei luoghi conduttori ristretti gli apparecchi trasportabili (mobili e portatili) possono essere alimentati dalla rete solo tramite:
A) un trasformatore d'isolamento, ad esempio 230/230 V, oppure
B) un trasformatore di sicurezza, ad esempio 230/24 V.
C) In alternativa, possono essere utilizzati utensili portatili alimentati da una sorgente autonoma, ad esempio una batteria di accumulatori.

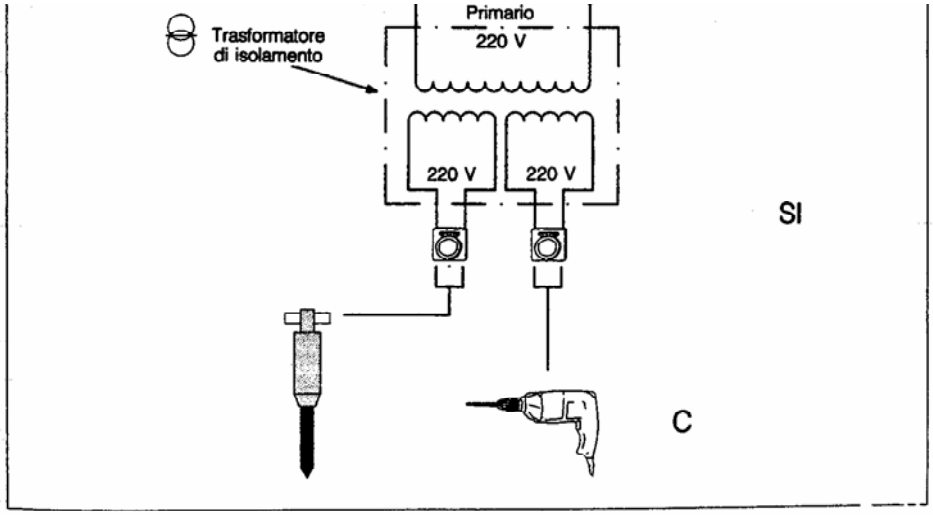


Fig. 24 - Nei luoghi conduttori ristretti: ogni apparecchio deve essere alimentato da un proprio trasformatore di isolamento; non è ammesso che un trasformatore di isolamento alimenti due apparecchi a meno che il trasformatore di isolamento abbia due avvolgimenti secondari separati.

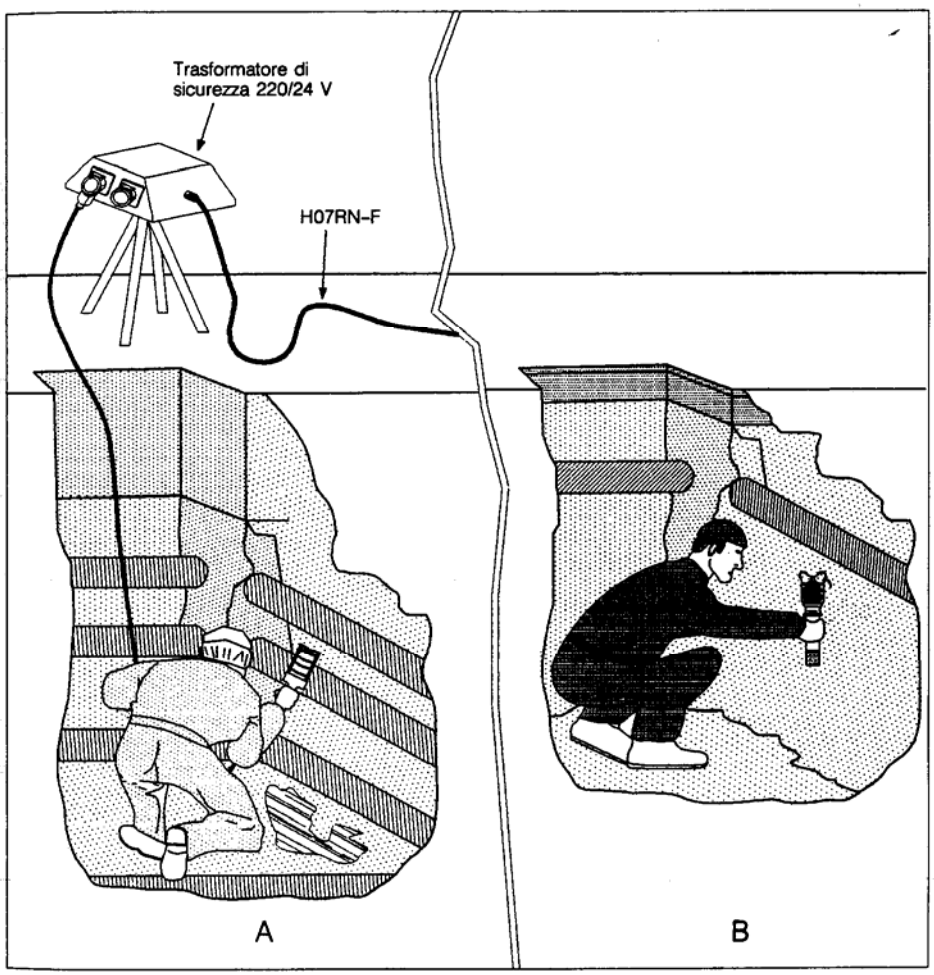


Fig. 25 - Nei luoghi conduttori ristretti le lampade portatili possono essere alimentate solo a bassissima tensione di sicurezza (SELV):
A) con trasformatore di sicurezza, oppure
B) con sorgente autonoma, ad esempio una batteria di accumulatori.

Gruppi elettrogeni

Per alimentare cantieri in zone remote, ad esempio in montagna o nella costruzione di autostrade, oppure quando la fornitura di energia elettrica da parte del Distributore non è disponibile in tempi brevi, si ricorre a gruppi elettrogeni.
Si collegano le masse e il neutro allo stesso impianto di terra (sistema TN), ma senza rinunciare agli interruttori differenziali, fig. 26.
Se il sistema elettrico è isolato da terra e il gruppo elettrogeno è piccolo, alimenta ad esempio un apparecchio, questo è protetto contro i contatti indiretti per separazione elettrica ed è proibito collegarlo a terra (CEI 64-8/4, art. 413.5.1.6).
L'apparecchio deve essere collegato equipotenzialmente alla carcassa del gruppo elettrogeno, fig. 27.

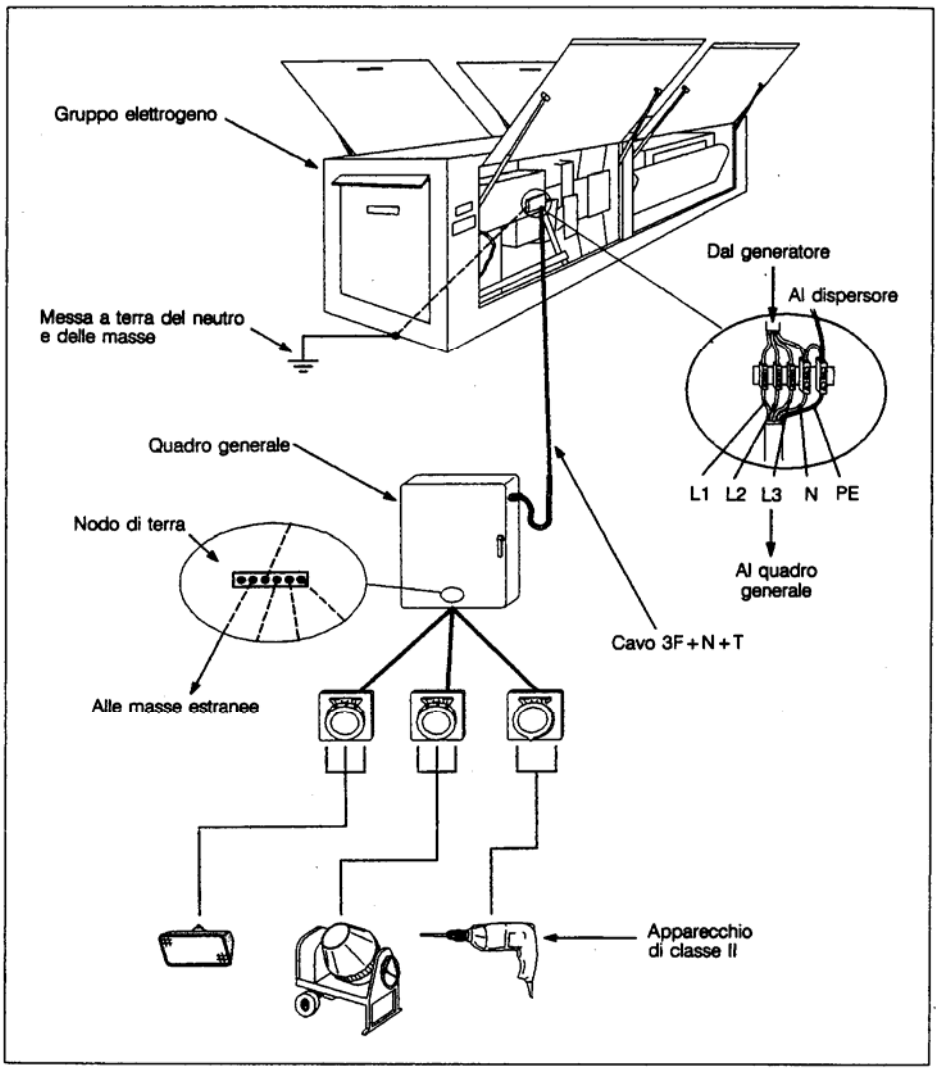


Fig. 26 - Cantiere alimentato da un gruppo elettrogeno. Il neutro e le masse sono collegati allo stesso impianto di terra (sistema TN): i circuiti sono protetti con interruttore differenziale.

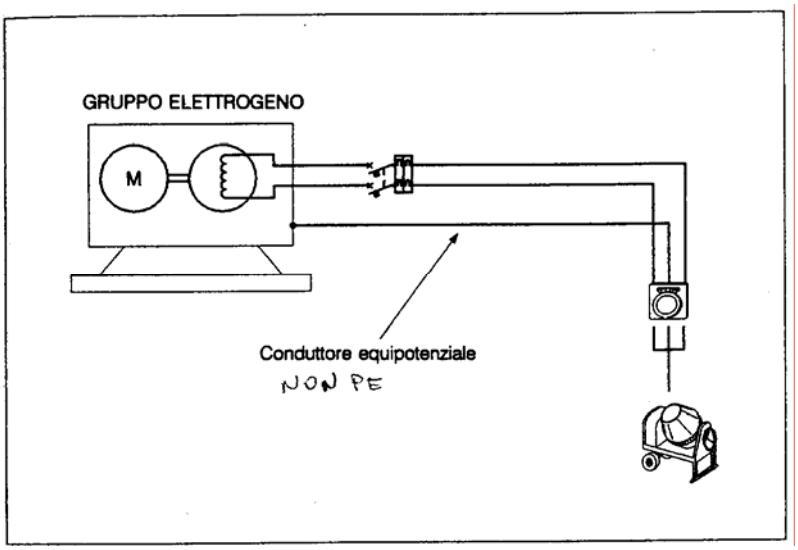


Fig. 27 - Apparecchio alimentato da un piccolo gruppo elettrogeno e protetto contro i contatti indiretti per separazione elettrica.

Illuminazione

Illuminazione ordinaria

Gli apparecchi di illuminazione possono essere soggetti a spruzzi, o essere investiti da getti d'acqua, ad esempio, nel bagnare i muri prima dell'intonacatura; è opportuno quindi che abbiano un grado di protezione almeno IP 55.

L'illuminazione ordinaria nel cantiere può essere attuata con apparecchi fissi, trasportabili o portatili.

Gli apparecchi di illuminazione fissi possono essere installati su pali, sul traliccio della gru, o in altre posizioni elevate, fig. 28.

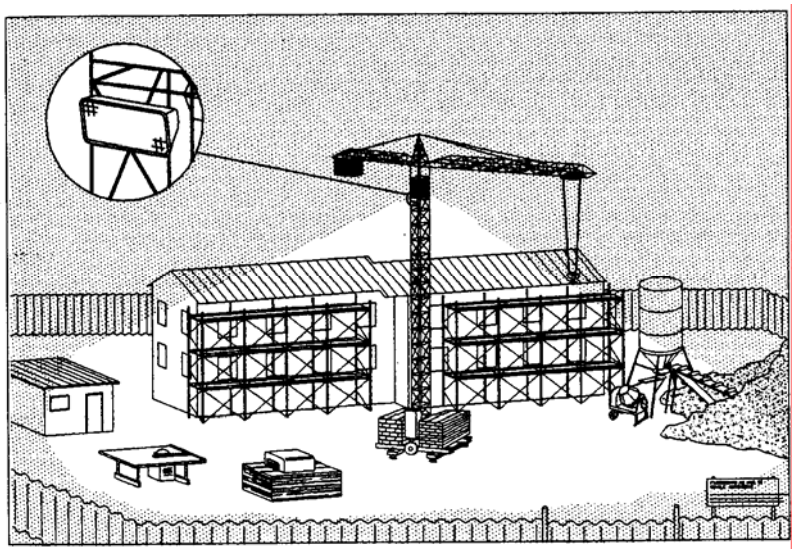


Fig. 28 - Apparecchi d'illuminazione del cantiere installati sulla gru.

Nei cantieri di notevoli dimensioni anche i posti di lavoro ed i passaggi interni, specie lungo i vani scala, devono essere opportunamente illuminati.

Si utilizzano apparecchi trasportabili (su treppiedi, cavalletti, ecc.) quando si devono illuminare parti della costruzione in fase di finitura, fig. 29.

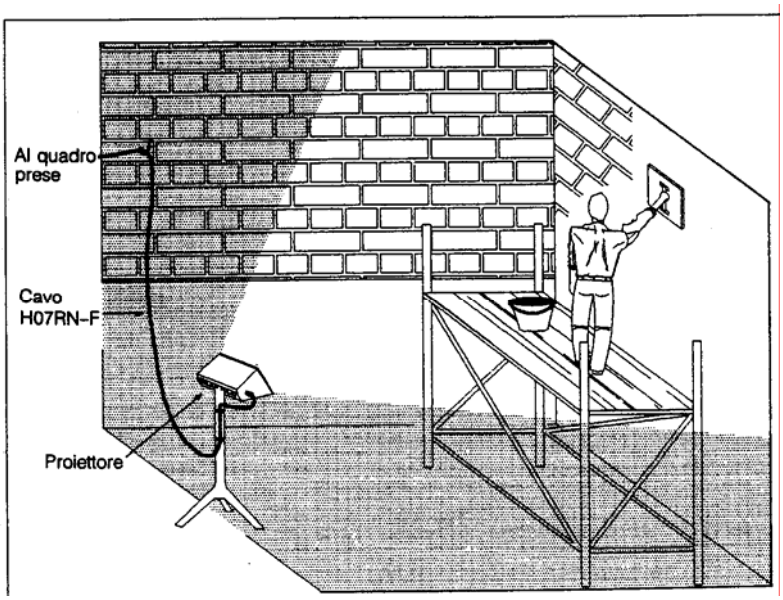


Fig. 29 - Illuminazione del luogo di lavoro con apparecchio trasportabile.

Gli apparecchi di illuminazione trasportabili possono essere alimentati a 230 V direttamente dalla rete, oppure a 24 V tramite trasformatore di sicurezza (SELV).
Le lampade portatili devono (DPR 547/55, art.317 e 318, CEI 34-34, art. 8.6.1, 8.6.2 e 8.6.3):
-avere l'impugnatura di materiale isolante non igroscopico,
-avere le parti in tensione, o che possono essere messe in tensione in seguito a guasti, completamente protette in modo da evitare ogni possibilità di contatto accidentale;
-avere involucro di vetro o di materiale traslucido a protezione della
lampada;
-essere munite di gabbia di protezione, fissata mediante collare esterno all'impugnatura isolante;
-garantire il perfetto isolamento delle parti in tensione dalle parti metalliche eventualmente fissate all'impugnatura, fig. 30.

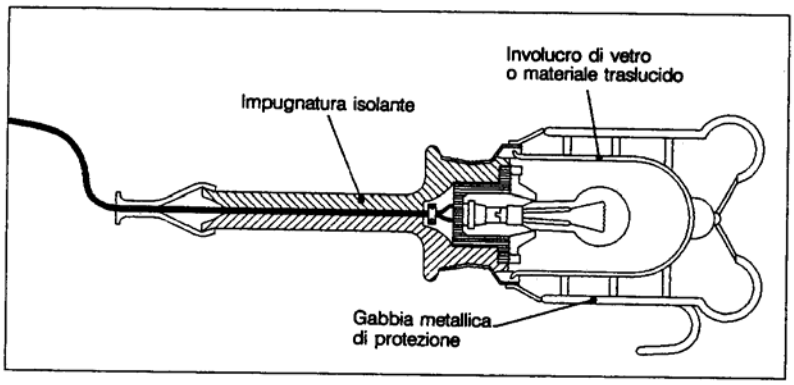


Fig. 30 - Le lampade portatili devono essere conformi alla norma CEI 34-34.

Illuminazione di sicurezza
Quando al mancare dell'illuminazione ordinaria possono determinarsi situazioni di pericolo per le persone, occorre predisporre un'ulteriore illuminazione, denominata illuminazione di sicurezza.

L’illuminazione di sicurezza è necessaria nei cantieri di dimensioni piuttosto rilevanti, dove il lavoro si svolge con l’illuminazione artificiale: ad esempio nei piani interrati, in locali all’interno di fabbricati con tamponamenti già eseguiti, ecc. (CEI 64-8/7, art. 704.3)
In questi casi vanno illuminate le vie di esodo che conducono a luoghi sicuri o all’aperto, specie le rampe di scale non ancora ultimate, i varchi di uscita, fig. 31.
Nei cantieri l’illuminazione di sicurezza è in genere assicurata con apparecchi di illuminazione autonomi (CEI 34-22).
Molto utile risulta l’illuminazione di sicurezza nel locale dove è installato il quadro elettrico principale quando, in caso di guasto o intervento delle protezioni generali, occorre operare sul quadro stesso.
La funzionalità degli apparecchi di illuminazione autonomi deve essere controllata periodicamente.

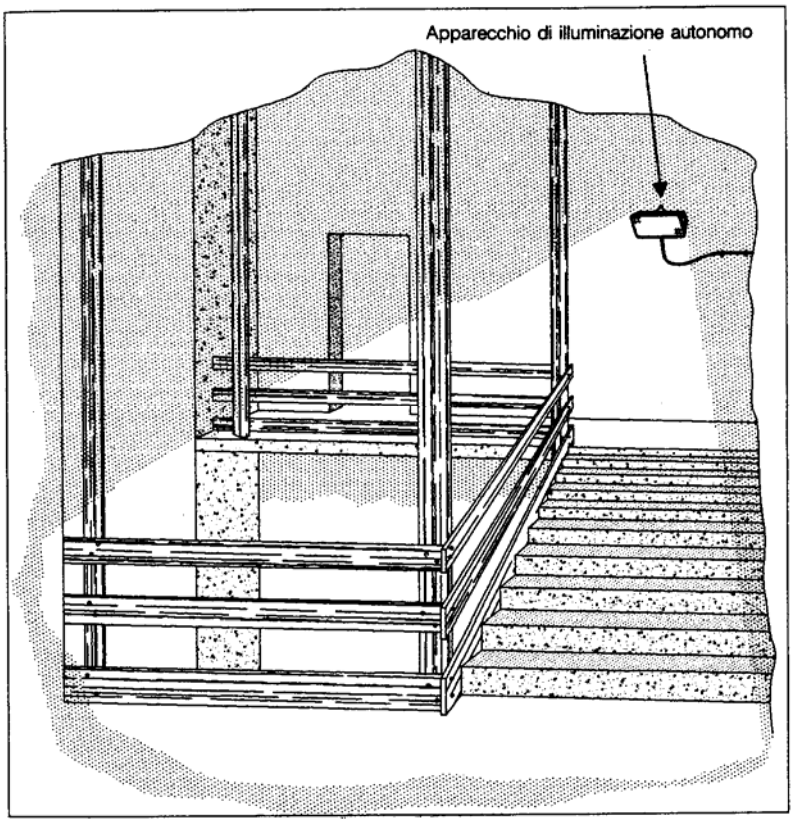


Fig. 31 - Dove in mancanza dell’illuminazione ordinaria possono verificarsi situazioni di pericolo, occorre predisporre una illuminazione di sicurezza per l’esodo del personale.

Illuminazione di segnalazione

Durante i lavori potrebbero crearsi situazioni di pericolo sulle vie di transito adiacenti al cantiere a causa di scavi, pozzetti, ponteggi sovrastanti i marciapiedi o ingombri di macchine (ad esempio basamenti di gru che invadono la sede stradale).
Le situazioni di pericolo devono essere segnalate, generalmente con apparecchi di illuminazione di colore rosso. Se tali apparecchi sono posti a portata di mano ($h \leq 2{,}5$ m), è opportuno utilizzare la bassissima tensione di sicurezza (DPR 547/55, art.225).

Bibliografia

V. Carrescia, Fondamenti di sicurezza elettrica, Torino, 1999

Tuttonormel – Impianti a norme CEI n.3 Cantieri Edili, Torino, 1994.

V. Carrescia, Elettroquesiti 6 La regola d'arte elettrica, Torino, 2003.

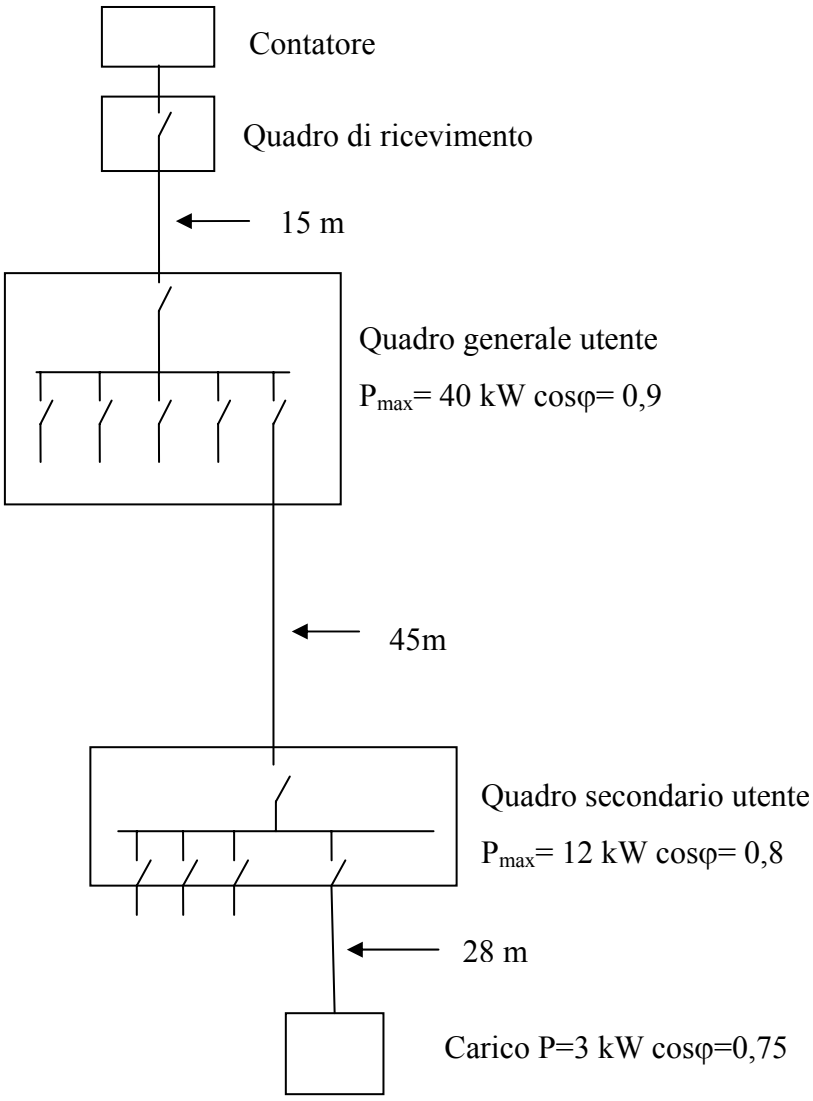
R. Sasdelli , "Appunti del corso di Misure e Collaudo di Macchine ed Impianti Elettrici", Università di Bologna

Esercizio di dimensionamento di un impianto di bassa tensione in un sistema TT.

Dimensionare l'impianto di bassa tensione in un sistema TT secondo i dati e lo schema di seguito forniti.

- Potenza 40kW + 10%;
- Corrente di corto circuito massima trifase: I_{cc}=10 kA.

Schema dell'impianto:



L'impianto di dispersione di terra ha una R_T=7,5 Ω

Quadro di ricevimento

Il quadro di ricevimento dovrà essere posizionato subito a valle del punto di consegna della fornitura e sarà equipaggiato con un interruttore magneto-termico differenziale generale.

Poiché il circuito a monte dell'interruttore non risulta protetto da un differenziale è consigliabile che questo quadro sia a doppio isolamento (abbia un involucro in materiale isolante).

Al fine di determinare le caratteristiche dell'interruttore, determiniamo la corrente massima assorbita dal carico I_B:

$$I_B = \frac{40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}9} = 67{,}6 \text{ A}$$

Le caratteristiche dell'interruttore saranno:

I_N=100 A

I_F=1,3 I_N =130 A (si assume che la corrente di sicuro intervento sia del 30% superiore alla I_N)

I_{cu}=10 kA potere di interruzione minimo

Si è scelta una corrente nominale dell'interruttore maggiore di quella assorbita dal carico al fine di consentire eventuali futuri aumenti di potenza. Viene scelto un interruttore 4x125 A, (ad esempio SACE ISOMAX S1), con potere di interruzione di 16 kA equipaggiato con relè magnetotermico avente I_N=100 A e intervento magnetico I_M=1000 A. Il relè differenziale sarà di tipo regolabile come tempo e corrente. Tali regolazioni saranno tarate con t_c=1s e I_d=1 A. In tale modo sarà verificato che $R_T \cdot I_d \leq 50$ V essendo R_T=7,5 Ω e I_d= 1 A.

Linea di collegamento al quadro generale

La lunghezza della linea che collega il quadro di ricevimento al quadro generale utente è di 15 m. La potenza assorbita è di 40 kW, la corrente I_B vale 67, 6 A, e si ipotizza di utilizzare un cavo 5x16mm^2 (3 fasi + neutro + PE) posato in un tubo di materiale plastico (vedi tabella 1). Dalla stessa tabella 1 infatti si ricava una portata termica di 88 A.

Tabella 1 – Esempi di portate termiche tipiche di condutture in cavo.

Numero conduttori n.	Sezione nominale mm²	Diametro indicativo conduttore mm	Spessore medio isolante mm	Diametro esterno massimo mm	Peso indicativo del cavo kg/km	Resistenza a 20 °C in C.C. Ohm/km	Portata di corrente (A) con temperatura ambiente di 30°C in aria	30°C in tubo	20°C interrato ϱ =1	20°C interrato ϱ =1.5	Raggio minimo di curvatura mm	Giunti consigliati PIRELLI SERVOCAVI
5 G	1,5	1,5	0,7	14,5	260	13,7	23	20	29	25	62	SGB/AE 1
5 G	2,5	1,9	0,7	15,6	330	8,21	31	28	37	33	66	SGB/AE 1
5 G	4	2,4	0,7	17,7	440	5,09	42	36	48	42	75	SGB/AE 2
5 G	6	3	0,7	19,9	560	3,39	54	47	60	52	82	SGB/AE 2
5 G	10	4,1	0,7	23,6	840	1,95	74	65	79	70	94	SGB/AE 2
5 G	16	5,2	0,7	27,6	1200	1,24	99	88	103	91	110	SGB/AE 2
5 G	25	6,3	0,9	32,1	1800	0,795	132	116	133	117	128	SGB/AE 31
5 G	35	7,7	0,9	36,1	2300	0,565	163	143	159	140	144	SGB/AE 41
5 G	50	9,4	1	39,1	3200	0,393	197	-	187	164	156	SGB/AE 41

Una situazione del genere però non è corretta in quanto I_Z deve soddisfare la relazione $I_z \geq I_N$. Per tale motivo si deve scegliere un cavo che abbia portata maggiore. Sempre dalla tabella 1 si sceglie un cavo 5x25 mm^2 che ha una portata di I_Z=116 A. Con tale valore è verificata la condizione $I_z \geq I_N$. La corrente di sicuro intervento I_F=1,3·I_N=130 A deve essere inferiore al valore dato della norma CEI 64-8 che risulta essere pari a 1,45·I_z.

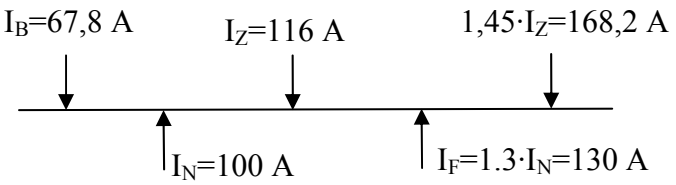


Tabella 2 – Parametri caratteristici delle condutture in cavo riportate in tabella 1.

sezione nominale mm²	Resistenza con temperatura di funzionamento di 90 °C – conduttore rigido C.C. Ohm/km	conduttore rigido C.A. Ohm/km	conduttore flessibile C.C. Ohm/km	conduttore flessibile C.A. Ohm/km	Reattanza a 50 Hz – conduttore rigido Unipolari Ohm/km	conduttore rigido Multipolari Ohm/km	conduttore flessibile Unipolari Ohm/km	conduttore flessibile Multipolari Ohm/km
1,5	15,60	15,60	17,50	17,50	0,146	0,103	0,146	0,103
2,5	9,64	9,64	10,50	10,50	0,135	0,095	0,135	0,095
4	5,99	5,99	6,49	6,49	0,126	0,090	0,126	0,090
6	3,97	3,97	4,32	4,32	0,118	0,085	0,118	0,085
10	2,35	2,35	2,49	2,49	0,106	0,079	0,106	0,079
16	1,48	1,48	1,58	1,58	0,099	0,076	0,099	0,076
25	0,94	0,94	1,01	1,01	0,095	0,076	0,095	0,076
35	0,67	0,67	0,72	0,72	0,091	0,074	0,091	0,074
50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,088	0,073	0,088	0,073
70	0,34	0,34	0,35	0,35	0,087	0,072	0,087	0,072
95	0,25	0,25	0,27	0,27	0,085	0,070	0,085	0,070
120	0,20	0,20	0,21	0,21	0,084	0,070	0,084	0,070
150	0,16	0,16	0,17	0,17	0,084	0,070	0,084	0,070
185	0,13	0,13	0,14	0,14	0,083	0,070	0,083	0,070
240	0,097	0,10	0,10	0,110	0,081	0,070	0,081	0,070
300	0,077	0,081	0,083	0,087	0,079	0,069	0,079	0,069
400	0,061	0,065	0,063	0,067	0,079	0,069	0,079	0,069
500	0,047	0,052	-	-	0,077	-	0,077	-
630	0,036	0,042			0,076		0,076	

In base alla tabella 2, il cavo scelto presenta una resistenza (a 90 °C) di 0,94 Ω/km ed una reattanza di 0,076 Ω/km. Di conseguenza la caduta di tensione dovuta a soltanto questa conduttura e corrispondente alla condizione di assorbimento della massima potenza, risulterà pari a:

$$\Delta V\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 67{,}6 \cdot \left(0{,}94 \cdot 0{,}9 + 0{,}076 \cdot 0{,}43\right)\frac{15}{1000}}{400} = 0{,}39\%$$

La corrente di cortocircuito minima si può stimare, sulla base delle norme CEI 64-8, come segue:

$$I_{cc} = \frac{0{,}8 \cdot U_0}{1{,}5 \cdot 0{,}018 \cdot 2 \cdot \frac{L}{S}} = \frac{0{,}8 \cdot 230}{1{,}5 \cdot 0{,}018 \cdot 2 \cdot \frac{15}{25}} = 5690 \text{ A}$$

Si ricorda come tale valore di corrente di corto circuito minima risulta approssimato e che un calcolo corretto può essere effettuato tramite l'utilizzo del metodo delle sequenze.

Tale valore di corrente minima di corto circuito, assieme al valore massimo di 10 kA, dovrà essere utilizzato nelle caratteristiche di intervento dell'interruttore precedentemente scelto al fine di determinare se i valori di energia specifica passante dell'interruttori risultano superiori al valore limite sopportabile dal cavo scelto. Supponendo che tale cavo abbia un isolamento in EPR, isolante avente un K=143, si ottiene un valore di K^2S^2 pari a $1{,}28 \times 10^7$ A^2s.

In mancanza delle curve caratteristiche dell'interruttore, si può assumere che per entrambi i valori di corrente di corto circuito massima e minima, l'interruttore intervenga istantaneamente in un tempo pari a 0.1 s da cui si ricavano due valori di I^2t pari a $1 \cdot 10^7$ A^2s e $3.23 \cdot 10^6$ A^2s rispettivamente. Con tale approssimazione risulta verificata la condizione $I^2t \le K^2S^2$.

Quadro Generale

La corrente di corto circuito massima per determinare i poteri di interruzione minimi degli interruttori di questo quadro sarà quella relativa ad un corto circuito trifase in corrispondenza del quadro generale utente. Pertanto tale corrente sarà dipendente dalla impedenza equivalente della rete di alimentazione e dalla impedenza del cavo di collegamento tra i quadro generale utente ed il quadro di ricevimento. L'impedenza equivalente della rete di alimentazione sarà quella corrispondente ad una corrente di corto circuito trifase di 10 kA e sarà pari a:

$$Z_{cc,eq} \approx X_{cc,eq} = \frac{V_0}{\sqrt{3} I_{cc}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 2.31 \cdot 10^{-2} \Omega$$

Si suppone inoltre che tale impedenza sia puramente induttiva, pertanto la corrente di corto circuito massima per la conduttura sarà pari a:

$$I_{cc,max} = \frac{V_0}{\sqrt{3}\sqrt{\left(R_{cavo,15m}\right)^2 + \left(X_{cavo,15m} + X_{cc,eq}\right)^2}} =$$

$$= \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(0.94 \frac{15}{1000}\right)^2 + \left(0.076 \frac{15}{1000} + 2{,}31 \cdot 10^{-2}\right)^2}} = 8235 \text{ A}$$

Gli interruttori posti sul quadro generale dovranno avere tutti un potere di interruzione nominale $I_{cn} \ge 8235$ A. Le protezioni differenziali dovranno essere di tipo S (ritardo di 60 ms) per le linee che alimentano i quadri secondari e prive di ritardo intenzionale per le linee dei circuiti terminali.

Per l'alimentazione del quadro secondario riportato nello schema potrà essere utilizzato un interruttore avente una corrente nominale I_N=32A con protezione magnetotermica e protezione differenziale con I_d=300 mA e t_c=60 ms.

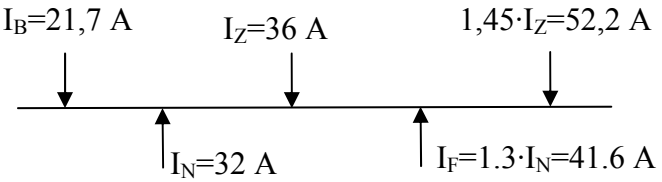
Cavo per l'alimentazione del quadro secondario

La corrente assorbita dal quadro secondario risulta essere pari a:

$$I_B = \frac{12 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}8} = 21{,}7 \text{ A}$$

Dalla tabella 1, se si sceglie un cavo con 5x4 mm^2 supponendo le stesse condizioni di posa in tubo del cavo precedente, pertanto la sua portata sarà I_Z=36 A.

L'interruttore scelto ha una corrente nominale I_N=32 A, risultano pertanto risultano soddisfatte le condizioni per il dimensionamento nei confronti dei sovraccarichi.



Il cavo presenta una resistenza (a 90 °C) di 5,99 Ω/km ed una reattanza pari a 0,09 Ω/km la caduta di tensione dovuta solamente a questa conduttura risulta essere pari a

$$\Delta V\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 21{,}7 \cdot (5{,}99 \cdot 0{,}8 + 0{,}09 \cdot 0{,}6)\frac{45}{1000}}{400} = 2{,}28\%$$

La corrente di corto circuito massima per questa conduttura sarà quella relativa ad un corto circuito trifase in corrispondenza del quadro generale utente. Pertanto tale corrente sarà pari a 8235 A.

La corrente di corto circuito minima vale:

$$I_{cc} = \frac{0{,}8 \cdot U_0}{1{,}5 \cdot 0{,}018 \cdot 2 \cdot \frac{L}{S}} = \frac{0{,}8 \cdot 230}{1{,}5 \cdot 0{,}018 \cdot 2 \cdot \frac{45}{6}} = 454 \text{ A}$$

Si ricorda come tale valore di corrente di corto circuito minima risulta approssimato e che un calcolo corretto può essere effettuato tramite l'utilizzo del metodo delle sequenze.

Tale valore di corrente minima di corto circuito, assieme al valore massimo di 8235 A, dovrà essere utilizzato nelle caratteristiche di intervento dell'interruttore precedentemente scelto al fine di determinare se i valori di energia specifica passante dell'interruttori risultano superiori al valore

limite sopportabile dal cavo scelto. Supponendo che tale cavo abbia un isolamento in EPR, isolante avente un K=143, si ottiene un valore di K^2S^2 pari a $3{,}27 \times 10^5$ A^2s.

Quadro secondario utente

Per la scelta degli interruttori si deve stimare il valore della corrente di cortocircuito massima trifase su tale quadro. Seguendo la stessa procedura adottata per il quadro generale utente la corrente di corto circuito trifase sarà pari a:

$$I_{cc,\,max} = \frac{V_0}{\sqrt{3}\sqrt{\left(R_{cavo,15m} + R_{cavo,45m}\right)^2 + \left(X_{cavo,15m} + X_{cavo,45m} + X_{cc,eq}\right)^2}} =$$

$$= \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\left(0.94\frac{15}{1000} + 5.99\frac{45}{1000}\right)^2 + \left(0.076\frac{15}{1000} + 0.09\frac{45}{1000} + 2{,}31 \cdot 10^{-2}\right)^2}} = 810\ \text{A}$$

Con questo risultato si possono scegliere interruttori che abbiano un potere di interruzione inferiore a quelli posti sul quadro generale. Ad esempio con I_{cn}=6 kA

Alimentazione del carico

Il carico ha assorbe una corrente di $I_B = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0{,}75} = 6{,}1\ \text{A}$

Si può scegliere un cavo del tipo 5x2,5 mm^2 con una portata I_Z=20 A ed un interruttore con una corrente nominale, ad esempio, di 10 A. Tale cavo presenta una resistenza (a 90 °C) di 9,64 Ω/km ed una reattanza pari a 0,095 Ω/km.

La caduta di tensione del tratto di linea che va dal quadro secondario al carico vale:

$$\Delta V\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 6{,}1 \cdot \left(9{,}64 \cdot 0{,}75 + 0{,}095 \cdot 0{,}65\right)\frac{28}{1000}}{400} = 0{,}53\%$$

La corrente di corto circuito massima risulta essere quella di corto circuito trifase del quadro secondario utente e pari a 810 A.

La corrente di cortocircuito minima è di:

$$I_{cc} = \frac{0{,}8 \cdot U_0}{1{,}5 \cdot 0{,}018 \cdot 2 \cdot \frac{L}{S}} = \frac{0{,}8 \cdot 230}{1{,}5 \cdot 0{,}018 \cdot 2 \cdot \frac{28}{2{,}5}} = 304\ \text{A}$$

Si ricorda come tale valore di corrente di corto circuito minima risulta approssimato e che un calcolo corretto può essere effettuato tramite l'utilizzo del metodo delle sequenze.

Tale valore di corrente minima di corto circuito, assieme al valore massimo di 810 A, dovrà essere utilizzato nelle caratteristiche di intervento dell'interruttore precedentemente scelto al fine di determinare se i valori di energia specifica passante dell'interruttori risultano superiori al valore

limite sopportabile dal cavo scelto. Supponendo che tale cavo abbia un isolamento in EPR, isolante avente un K=143, si ottiene un valore di K^2S^2 pari a $1{,}28 \cdot 10^5$ A^2s.