

ANNO SCOLASTICO 2014-2015
ESAME DI STATO DI ISTRUZIONE SECONDARIA SUPERIORE
Indirizzo: ITET – ELETTROTECNICA ED ELETTRONICA
ARTICOLAZIONE ELETTROTECNICA

Tema di:TECNOLOGIA E PROGETTAZIONE DI SISTEMI ELETTRICI ED ELETTRONICI

Il candidato svolga la prima parte della prova e due tra i quesiti proposti nella seconda parte.

PRIMA PARTE

Si deve dimensionare l'impianto elettrico di un piccolo stabilimento industriale, dedicato alla lavorazione di marmi, che viene alimentato alla tensione di 230/400 V. Lo stabilimento è costituito da un capannone industriale di forma rettangolare di lati $l_1 = 60$ m e $l_2 = 50$ m suddiviso in tre ambienti.

Nel primo ambiente, destinato alla zona lavorazione, sono previsti i seguenti carichi:

- a. una macchina fresatrice da taglio per grandi blocchi da 20 kW;
- b. frese per taglio di piccoli blocchi per complessivi 12 kW;
- c. una macchina rifinitrice da 10kW;
- d. una lucidatrice da 25 kW;
- e. purificatori d'aria per complessivi 9 kW;
- f. due compressori da 3 kW;
- g. una linea prese a spina per un totale di 11 kW;
- h. una linea illuminazione da 9 kW.

Il secondo ambiente è destinato agli uffici e sono previsti i seguenti carichi:

- a. una linea illuminazione da 3 kW;
- b. una linea prese a spina da 6 kW;
- c. un impianto di condizionamento da 10 kW;
- d. una zona esposizione da 3 kW.

Il terzo ambiente è adibito a locale spogliatoio ed assorbe una potenza complessiva di 3 kW.

Il candidato, dopo aver ipotizzato la suddivisione planimetrica dei tre ambienti e fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene necessarie:

1. determini la potenza complessiva dell'impianto e stabilisca dove collocare il quadro elettrico generale;
2. rappresenti lo schema a blocchi della distribuzione dell'energia elettrica;
3. disegni lo schema elettrico unifilare dell'impianto e illustri i criteri da seguire per il calcolo delle caratteristiche delle apparecchiature presenti nei quadri.

Inoltre, il candidato, dopo aver proposto la soluzione progettuale che ritiene più efficace per il funzionamento dei carichi installati nella zona lavorazione, dimensiona le relative linee di alimentazione.

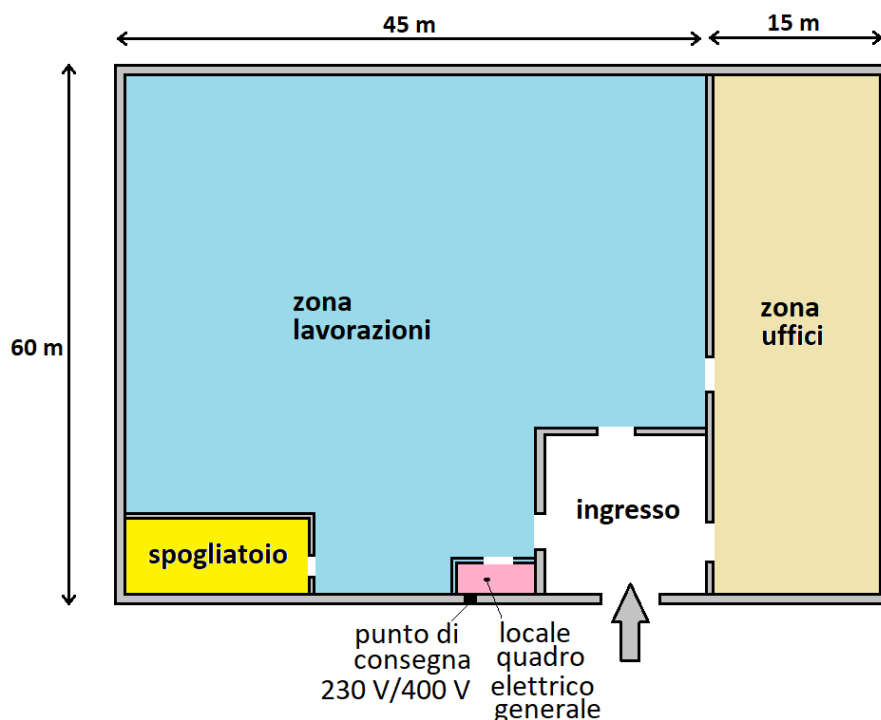
SECONDA PARTE

1. Dopo aver illustrato le caratteristiche generali degli impianti di terra, il candidato individui la tipologia dell'impianto più adatto per lo stabilimento descritto nella prima parte, giustificando la scelta operata. Sapendo che il suolo, sul quale è edificato lo stabilimento, è costituito da un terreno organico con resistività $100 \Omega\text{m}$, il candidato individui il tipo e il numero di dispersori e la loro posizione necessari per realizzare l'impianto di terra.
2. Lo spazio antecedente allo stabilimento industriale di area pari a 800 m^2 è adibito a parcheggio all'aperto. Il candidato, dopo aver effettuato tutte le ipotesi aggiuntive per meglio definire le specifiche del progetto, dimensioni un impianto fotovoltaico idoneo a soddisfare il bisogno energetico relativo all'illuminazione del parcheggio.
3. Il candidato dimensiona la cabina di trasformazione a servizio dello stabilimento, avente le stesse caratteristiche di quello illustrato nella prima parte, sapendo che essa è alimentata da una linea in cavo alla tensione nominale di 20 kV .
4. Il candidato scelga il dispositivo atto a proteggere dalle sovracorrenti un motore che funziona secondo il seguente ciclo di lavoro:
 1. avviamento $t_a = 4 \text{ s}$ con corrente di spunto pari a 8 volte la corrente nominale;
 2. fase di lavoro $t_l = 30 \text{ s}$ con corrente nominale pari a 15 A ;
 3. sosta $t_s = 8 \text{ s}$.

Si illustrino i criteri di scelta.

soluzione PRIMA PARTE

La rappresentazione della planimetria dell'impianto con la posizione del quadro elettrico generale e il punto di consegna viene riportata in figura.



1. Potenza complessiva dell'impianto

Si deve procedere all'analisi dei carichi e valutare di conseguenza il tipo di alimentazione, se direttamente in BT oppure in MT.

Non esistono regole precise che riguardano limiti di potenza per il tipo di fornitura dell'energia elettrica.

La decisione di fornire l'energia in BT o in MT spetta normalmente alla società di distribuzione ed è legata a diversi fattori, quali le condizioni della rete locale, la distanza dell'utenza dalla cabina primaria.

Spesso, al di sotto dei 30 kW, la fornitura è effettuata in BT (anche se sono frequenti forniture fino a 100 kW e oltre).

L'utente da parte sua, quando è possibile scegliere tra fornitura in BT e fornitura in MT, in base ad un'analisi dei costi può decidere se scegliere l'una oppure l'altra soluzione. L'energia fornita in MT ha un costo al kWh inferiore rispetto a quella fornita in BT.

Anche se bisogna valutare il tempo di ammortamento della cabina di trasformazione, quantificabile in circa uno o due anni, il costo è comunque ampiamente compensato dal basso prezzo per kWh dell'energia fornita in MT.

Nel prospetto riportato nella tabella seguente viene fatto riferimento alla potenza impegnata dai diversi carichi.

zone		alimentazione	carico [kW]
<i>lavorazioni</i>	<i>fresatrice da taglio</i>	<i>trifase</i>	20
	<i>frese per taglio di piccoli blocchi</i>		12
	<i>rifinitrice</i>		10
	<i>lucidatrice</i>		25
	<i>purificatori d'aria</i>		9
	<i>compressori</i>		6
	<i>prese a spina</i>	<i>monofase</i>	11
	<i>illuminazione</i>		9
<i>uffici</i>	<i>illuminazione</i>	<i>monofase</i>	3
	<i>prese a spina</i>		6
	<i>condizionamento</i>		10
	<i>esposizione</i>		3
<i>spogliatoio</i>		<i>monofase</i>	3
carico complessivo			127

Il valore della potenza complessiva impegnata dell'impianto, 127 kW, è stato ottenuto senza prendere in considerazione coefficienti di contemporaneità e utilizzazione.

Tenendo conto di coefficienti di contemporaneità e utilizzazione nella misura del 20% risulta una potenza complessiva pari a 101,6 kW.

Per il valore in questione, decisamente non elevato, si può evitare l'impiego di una cabina MT/BT e optare di conseguenza per l'alimentazione diretta dalla rete pubblica.

Questa scelta viene evidenziata nella planimetria in cui punto di consegna in BT e quadro elettrico vengono collocati nel medesimo ambiente.

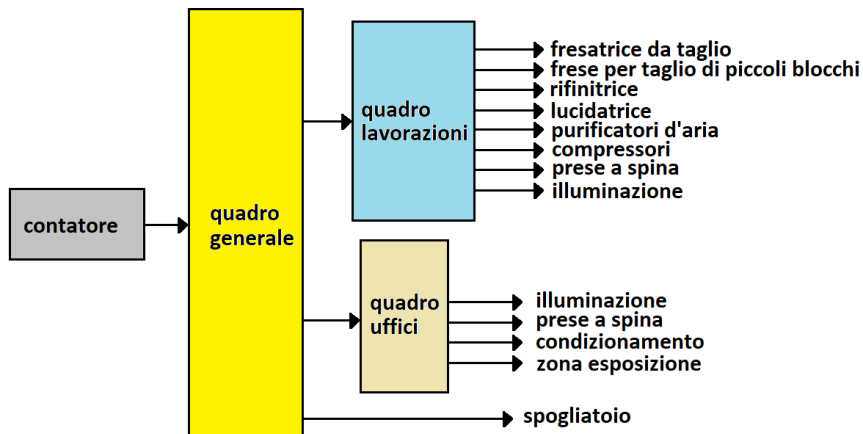
La potenza impegnata è quella resa disponibile dal venditore (esempio ENEL) per un determinato contratto; è in pratica il livello di potenza indicato nel contratto; tale valore, concordato con il venditore stesso, deve quindi risultare superiore al valore calcolato in precedenza.

La potenza disponibile per il cliente è la potenza massima prelevabile, valore più elevato rispetto alla potenza impegnata (in particolare per clienti con potenza impegnata fino a 30 kW si ha una maggiorazione del 10%).

2. Schema a blocchi della distribuzione

Un possibile schema a blocchi della distribuzione dell'energia elettrica (con struttura radiale) viene riportato in figura.

Dal quadro elettrico generale, disposto immediatamente a valle del contatore, si diramano le linee che alimentano i sottoquadri lavorazioni e uffici; lo spogliatoio viene alimentato direttamente dal quadro generale.

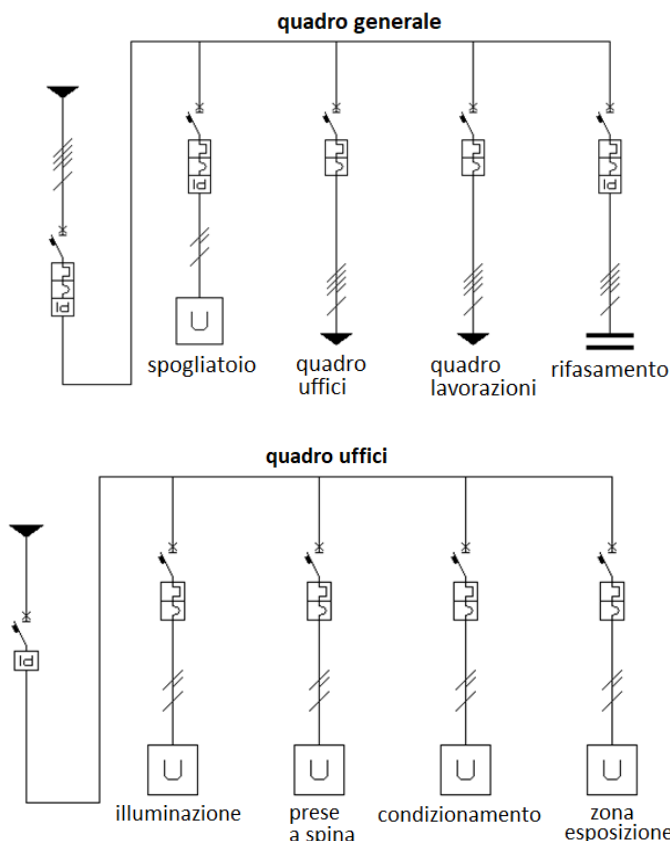


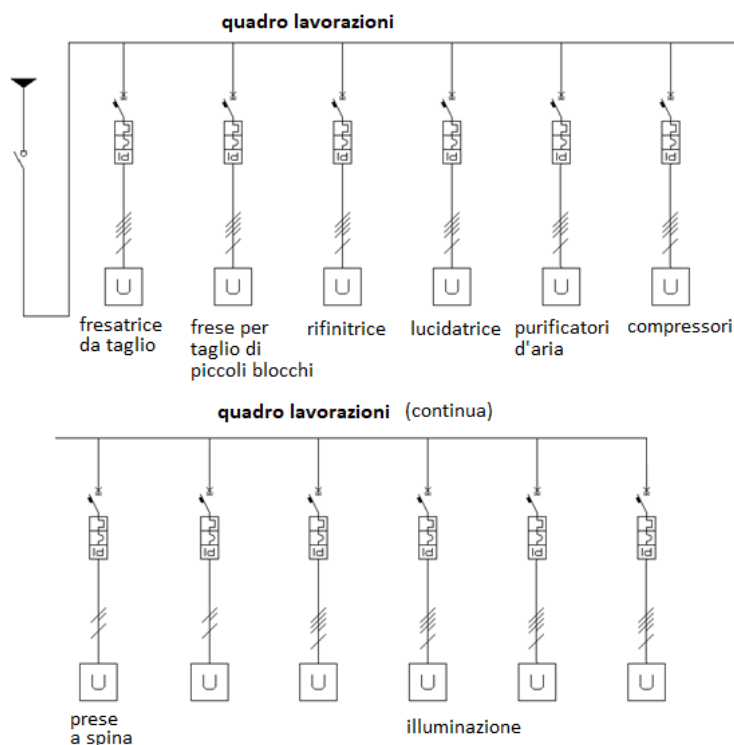
3a. Schema elettrico unifilare

Nelle figure che seguono vengono riportati gli schemi elettrici unifilari del quadro generale, del quadro uffici e del quadro lavorazioni.

Il quadro generale viene completato con la linea relativa all'impianto di rifasamento.

Nel quadro lavorazioni sono previste, con lo scopo di ripartire il carico, tre linee per le prese a spina e tre linee per l'illuminazione.





3b. Criteri di scelta delle apparecchiature

La protezione combinata contro le sovracorrenti (sovraccarico e cortocircuito) viene affidata a interruttori automatici provvisti di sganciatore magnetotermico.

Per il dimensionamento delle apparecchiature utilizzate è necessario conoscere:

- la corrente d'impiego delle diverse linee;
- la portata del cavo utilizzato nelle diverse linee;
- la corrente di corto circuito presunta all'uscita del contatore considerato come punto d'origine dell'impianto.

Con questi dati a disposizione si possono individuare la corrente nominale e il potere di interruzione dei dispositivi che vengono posti a protezione della linea.

La corrente nominale del dispositivo deve essere un valore compreso tra corrente d'impiego e portata del cavo.

Se ad esempio la corrente d'impiego di una linea è di 32 A e la corrispondente portata del cavo 36 A si deve scegliere un dispositivo commerciale con corrente nominale compresa tra questi due valori; se non esiste un dispositivo con queste caratteristiche si deve scegliere il dispositivo con corrente nominale più vicina a 32 A, ad esempio 40 A; si deve di conseguenza ridimensionare il cavo in modo tale che abbia una portata che supera i 40 A, ad esempio 46 A.

La corrente di corto circuito serve per determinare il potere d'interruzione.

Non essendo in questo caso un valore noto si può ipotizzare un valore inferiore ai 10 kA e utilizzare di conseguenza dispositivi commerciali con potere d'interruzione 10 kA.

Per il dimensionamento del dispositivo di protezione che si trova a inizio quadro, prima delle diramazioni, si deve prendere in considerazione la somma delle correnti dei diversi rami.

I differenziali possono essere scelti considerando una sensibilità di 0,3 A.

3c. Dimensionamento delle linee di alimentazione della zona lavorazioni

Vista la planimetria dell'impianto si ritiene di collocare il quadro della zona lavorazioni in modo tale che i carichi non risultino distanti più di 40 m dal quadro medesimo.



In proposito per minimizzare le distanze si può ricorrere all'impiego di condutture disposte sotto pavimento.

Per procedere al calcolo della sezione delle linee si può determinare inizialmente la portata ritenendo trascurabile la lunghezza delle linee stesse per poi effettuare la verifica della caduta di tensione.

Per la valutazione della sezione vengono di seguito riportate:

- una tabella relativa alla portata dei cavi (isolati in PVC o in EPR) posati in tubi protettivi;
- una tabella relativa al calcolo della caduta di tensione unitaria.

Sezione mm ²	Portata (A)			
	Numero conduttori caricati			
	2		3	
	PVC	EPR	PVC	EPR
1	13,5	17	12	15
1,5	17,5	23	15,5	20
2,5	24	31	21	28
4	32	42	28	37
6	41	54	36	48
10	57	75	50	66
16	76	100	68	88
25	101	133	89	117
35	125	164	110	144
50	151	198	134	175
70	192	253	171	222
95	232	306	207	269
120	269	354	239	312
150	309	402	275	355
185	353	472	314	417
240	415	555	369	490

Sezione nominale mm ²	Cavi unipolari							
	Monofase 				Trifase 			
	cos φ							
	0,7	0,8	0,9	1	0,7	0,8	0,9	1
1,5	22,49	25,63	28,77	31,83	19,45	22,17	24,89	27,53
2,5	13,56	15,43	17,30	19,10	11,73	13,35	14,97	16,97
4	8,47	9,63	10,77	11,84	7,33	8,33	9,32	10,25
6	5,70	6,46	7,21	7,90	4,93	5,59	6,24	6,83
10	3,36	3,79	4,21	4,57	2,90	3,28	3,64	3,95
16	2,17	2,44	2,69	2,90	1,88	2,11	2,33	2,50
25	1,45	1,61	1,76	1,87	1,25	1,39	1,53	1,61
35	1,06	1,17	1,27	1,33	0,92	1,01	1,10	1,15
50	0,77	0,85	0,91	0,92	0,67	0,73	0,79	0,80
70	0,58	0,62	0,66	0,65	0,50	0,54	0,57	0,56
95	0,47	0,50	0,52	0,50	0,41	0,43	0,45	0,43
120	0,39	0,41	0,42	0,39	0,34	0,35	0,36	0,34
150	0,34	0,35	0,35	0,31	0,29	0,30	0,30	0,27
185	0,30	0,30	0,30	0,26	0,26	0,26	0,26	0,22
240	0,25	0,25	0,25	0,20	0,22	0,22	0,21	0,17

Vengono prese in considerazione soltanto le linee trifase, quelle che alimentano le macchine operatrici.

Il calcolo della corrente assorbita viene effettuato utilizzando la relazione

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

con V=400 V e un fattore di potenza pari a 0,9 (impianto rifasato).

Svolgendo i calcoli si ottiene la tabella che segue nella quale vengono riportati:

- la potenza impegnata;
- la corrente assorbita;
- la sezione e la portata dei cavi (ipotizzando l'impiego di cavi isolati in PVC).

carico	potenza [kW]	corrente [A]	sezione [mm ²]	portata [A]
fresatrice da taglio	20	32,2	6	36
frese per taglio di piccoli blocchi	12	19,3	2,5	21
rifinitrice	10	16,1	2,5	21
lucidatrice	25	40,1	10	50
purificatori d'aria	9	14,4	2,5	21
compressori	6	9,6	1,5	15,5

Per la linea *fresatrice da taglio* si ottiene ad esempio:

$$I = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,9} = 32,2 \text{ A}$$

Per valutare se la sezione dei cavi è idonea bisogna prendere in considerazione la caduta di tensione dovuta alla lunghezza del cavo stesso e verificare se questa risulta contenuta entro limiti accettabili, ad esempio il 3%.

Nel caso di carichi trifase la caduta di tensione non deve pertanto superare i 12 V.

Per valutare la caduta di tensione si può utilizzare la tabella che fa riferimento al metodo della caduta di tensione unitaria (c.d.t.u.).

La c.d.t.u. (espressa in mV/A·m) rappresenta la tensione riferita all'unità di lunghezza della linea e all'unità di intensità di corrente che attraversa la linea; viene indicata con u .

La caduta di tensione effettiva ΔV è legata alla c.d.t.u. dall'espressione:

$$\Delta V = u \cdot I \cdot \ell$$

Il procedimento di calcolo è il seguente:

- noti i valori della sezione e del fattore di potenza si individua da tabella il valore della caduta di tensione unitaria;
- nota l'intensità della corrente di linea e la lunghezza della linea si ricava tramite formula la caduta di tensione effettiva

Nella tabella che segue, dopo avere effettuato i calcoli opportuni, si riportano i risultati della verifica (SI, nel caso di sezione idonea).

E' stato preso in considerazione un fattore di potenza pari a 0,9 (valore dopo il rifasamento) e una lunghezza del cavo pari a 40 m (la condizione più sfavorevole).

carico	corrente [A]	sezione [mm ²]	lunghezza [m]	c.d.t.u. [mV/A·m]	ΔV [V]	Verifica [SI/NO]
fresatrice da taglio	32,2	6	40	6,24	8	SI
frese per taglio di piccoli blocchi	19,3	2,5	40	14,97	11,6	SI
rifinitrice	16,1	2,5	40	14,97	9,6	SI
lucidatrice	40,1	10	40	3,64	5,8	SI
purificatori d'aria	14,4	2,5	40	4,21	7,3	SI
compressori	9,6	1,5	40	10,77	12,5	SI

Per la linea *fresatrice da taglio* si ottiene ad esempio:

$$\Delta V = u \cdot I \cdot \ell = \frac{6,24 \cdot 32,2 \cdot 40}{1000} = 8 \text{ V}$$

soluzione SECONDA PARTE

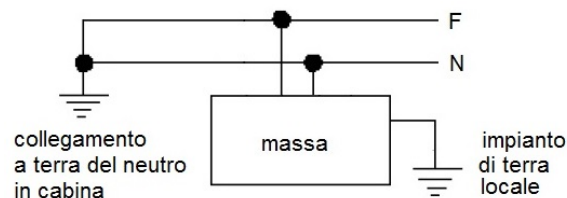
QUESITO 1

Gli impianti di terra o di messa a terra costituiscono una protezione contro i contatti indiretti.

La messa a terra di protezione collega tutte le parti metalliche degli impianti e degli apparecchi utilizzatori con lo scopo di limitare o, agevolando l'interruzione del circuito di

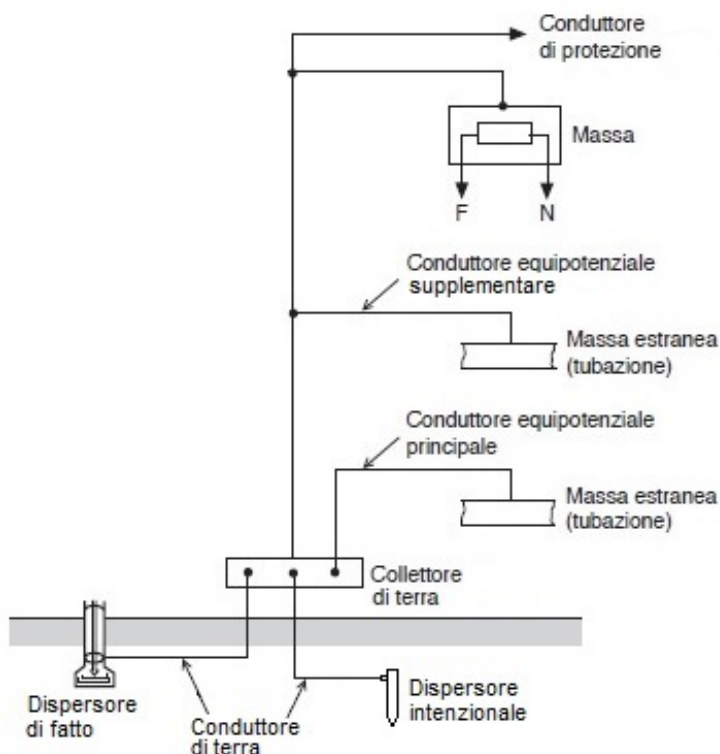
guasto, di eliminare le tensioni pericolose che potrebbero applicarsi alla persona che venisse a contatto con un involucro metallico in difetto di isolamento.

I sistemi di alimentazione della rete pubblica sono caratterizzati dalla presenza di impianti di terra locali (ad esempio quelli comuni ad uno o più condomini) ai quali vengono collegate le masse; l'impianto di terra è elettricamente indipendente da quello del conduttore neutro del sistema di alimentazione collegato direttamente a terra nella cabina elettrica che alimenta le utenze; proprio per queste sue caratteristiche un sistema di questo tipo, schematizzato in figura, viene denominato *sistema TT*.



In figura viene riportato un esempio di impianto di terra in cui vengono messi in evidenza gli elementi costitutivi principali:

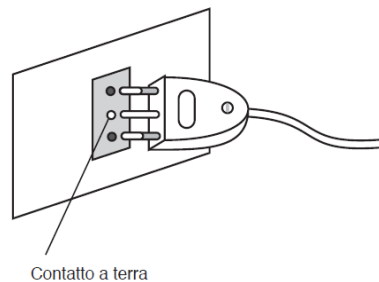
- *conduttori di protezione;*
- *collettori di terra;*
- *conduttori di terra;*
- *dispersori;*
- *conduttori equipotenziali.*



I **conduttori di protezione** hanno la funzione di far fluire la corrente di guasto dalle masse al collettore principale di terra e quindi ai dispersori.

Ai conduttori di protezione devono essere collegate le masse ovvero gli utilizzatori da proteggere.

In figura viene riportato un esempio di collegamento presa-spina in cui il terminale centrale rappresenta l'elemento di collegamento tra conduttore di protezione e apparecchio utilizzatore.



Tipicamente come conduttori di protezione possono essere utilizzati cavi unipolari contraddistinti dal colore giallo a strisce verdi.

I **collettori di terra** hanno la funzione di realizzare il collegamento fra conduttori di protezione, conduttori di terra e conduttori equipotenziali principali; i collettori di terra sono in genere costituiti da una piastra di acciaio zincato provvista di morsetti di collegamento.

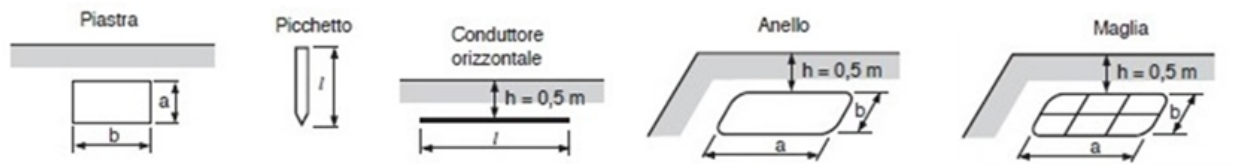
I **conduttori di terra** hanno la funzione di realizzare il collegamento fra dispersori e fra collettori di terra e dispersori.

I **dispersori** sono costituiti da elementi metallici posati nel terreno e a contatto con esso che realizzano il collegamento elettrico con la terra.

Si possono avere due tipologie di dispersori rispettivamente denominate:

- *dispersori intenzionali;*
- *dispersori di fatto.*

I **dispersori intenzionali** vengono costruiti appositamente per questo scopo; alcuni esempi di forme geometriche più comunemente utilizzate vengono proposti nella figura seguente.



I **dispersori di fatto** sono forme costruttive già esistenti, realizzate per scopi differenti che vengono collegate all'impianto di terra con funzione di dispersori come ad esempio i ferri delle armature dei pilastri in cemento armato.

I **conduttori equipotenziali** realizzano un collegamento che pone le masse e le masse estranee allo stesso potenziale; sono importanti in quanto riducono la tensione di contatto in caso di guasto e la resistenza complessiva dell'impianto facendone aumentare la sicurezza.

Si classificano come:

- *principali;*
- *supplementari.*

I **conduttori equipotenziali principali** sono quelli che collegano il collettore principale di terra alle principali masse estranee che si trovano alla base dell'edificio.

I **conduttori equipotenziali supplementari** sono quelli che collegano il conduttore di protezione con le masse estranee proprie di ambienti particolari come i locali da bagno.

Dimensionamento dell'impianto

Si suppone di avere a disposizione quattro dispersori a picchetto lunghi 2 m e di disporli in parallelo ad una distanza superiore a dieci volte la lunghezza del singolo dispersore in modo da non creare interferenze.

La resistenza di terra del singolo picchetto vale pertanto:

$$R = \frac{\rho}{\ell} = \frac{100}{2} = 50 \Omega$$

Con quattro dispersori in parallelo risulta una resistenza di terra totale pari a:

$$R_t = \frac{50}{4} = 12,5 \Omega$$

Con questo valore di resistenza di terra e considerando per il coordinamento delle protezioni differenziali con sensibilità 1 A (caso più sfavorevole), risulta verificata la relazione

$$R_t \cdot I_{5s} \leq 50 V$$

in cui I_{5s} è la corrente d'intervento del dispositivo in 5 s che corrisponde proprio alla sensibilità I_{dn} del differenziale; si ottiene infatti $R_t \leq 12,5 \Omega$.

Secondo le Norme CEI infatti la protezione, per motivi di sicurezza, risulta efficace solo se assicura il permanere di una tensione di contatto a vuoto (tensione tra massa e terra in presenza di guasto) non superiore a 50 V in alternata a frequenza industriale per un tempo non superiore a 5 s.

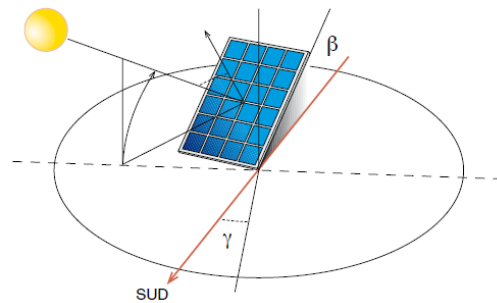
QUESITO 2

I parcheggi fotovoltaici sono parcheggi per automobili dotati di una pensilina di copertura sul cui tetto vengono installati dei pannelli solari fotovoltaici capaci di utilizzare il calore del sole per trasformarlo in energia elettrica; si osservi un esempio nella figura seguente.



Le pensiline fotovoltaiche di questa tipologia risultano spesso migliori dei pannelli installati sopra ai tetti delle abitazioni in quanto è possibile scegliere l'inclinazione ideale per la tipologia di condizioni climatiche della zona o considerare pannelli capaci di muoversi seguendo la direzione dei raggi del sole catturando così un maggiore quantitativo di energia solare.

Nella figura seguente viene riportato un esempio di posizionamento di un pannello in termini di inclinazione e orientamento.



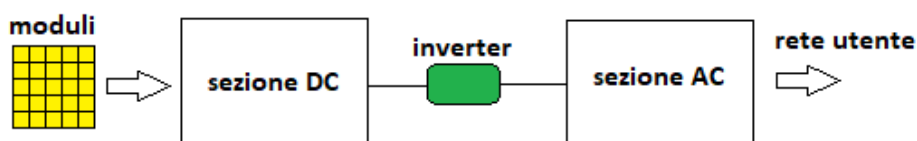
Oltre a essere utilizzato per soddisfare le necessità energetiche relative al parcheggio, l'impianto fotovoltaico può essere allacciato alla rete elettrica di bassa tensione dello stabilimento in modo tale che l'energia venga riversata in rete nei momenti in cui la produzione supera il fabbisogno o, al contrario, prelevata quando la produzione è inferiore al fabbisogno.

Gli elementi costitutivi essenziali di un impianto fotovoltaico sono i pannelli solari (quelli in silicio sono i più comuni), strutture di sostegno che facilitino l'installazione e l'orientamento in modo tale da riuscire ad immagazzinare quanta più energia possibile, un inverter (dispositivo che consente la trasformazione della corrente continua in corrente alternata), un misuratore di energia che consente di conoscere con esattezza la situazione energetica (quanta energia è stata prodotta e quanta è stata utilizzata), i cavi di collegamento e i quadri elettrici che mettono in connessione tra loro i diversi elementi dell'impianto.

L'area di parcheggio in questione ha dimensione 800 m²; quella effettivamente utilizzabile per il parcheggio dei veicoli è di 600 m².

Su tale area vengono installate le pensiline con i moduli fotovoltaici disposti sopra di esse. Le pensiline vengono ricoperte utilizzando 250 moduli fotovoltaici da 100 W ciascuno in modo tale da ottenere una potenza complessiva di 25 kW.

Lo schema a blocchi dell'impianto viene riportato in figura.



QUESITO 3

Il valore di 101,6 kW determinato in precedenza può giustificare la presenza di una cabina di trasformazione alla quale dovrebbe essere riservata una locazione eventualmente nella zona antistante l'edificio, per esempio vicino al parcheggio.

Dimensionamento del trasformatore

E' un punto fondamentale nella progettazione della cabina.

In proposito il valore della potenza attiva totale P_t deve essere aumentato per non far lavorare il trasformatore a pieno carico e per tener conto di eventuali ampliamenti dell'impianto; tale potenza aggiuntiva, che può corrispondere al 30% della potenza calcolata attraverso l'analisi dei carichi, viene definita *potenza marginale* P_m .

Poiché la scelta del trasformatore è legata alla potenza apparente, bisogna tenere conto di un fattore di potenza medio del carico ($\cos \varphi_m$).

Con una potenza marginale del 30% (corrispondente a 30,5 kW) e con un $\cos \varphi_m$ pari a 0,9 si ottiene la potenza apparente:

$$S_t = \frac{P_t + P_m}{\cos \varphi_m} = \frac{101,6 + 30,5}{0,9} = 146,8 \text{ kVA}$$

Il numero dei trasformatori, la loro tecnologia costruttiva ed il tipo di collegamento vengono scelti tenendo conto della potenza apparente totale del sistema e del tipo di servizio che deve essere offerto.

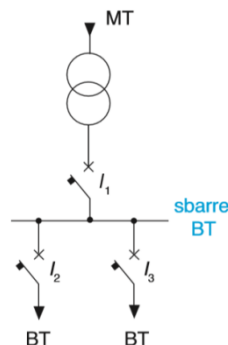
La scelta cade nella maggior parte dei casi sull'impiego di:

- un solo trasformatore;
- due trasformatori collegati in parallelo;
- un trasformatore principale di grossa potenza affiancato da un trasformatore ausiliario di potenza ridotta.

Le potenze nominali standard dei trasformatori MT/BT sono 100 kVA, 160 kVA, 250 kVA, 315 kVA, 400 kVA, 630 kVA, 800 kVA, 1000 kVA, 1250 kVA, 1600 kVA, 2000 kVA, 2500 kVA; esistono comunque anche taglie intermedie come il 500 kVA.

Optando per la scelta di un solo trasformatore si può considerare in questo caso un trasformatore della potenza di 500 kVA.

Un esempio di schema tipico viene riportato in figura.



Scelta delle apparecchiature lato media tensione

Il dimensionamento degli apparecchi di manovra e di protezione lato media tensione deve avvenire in relazione ai seguenti fattori:

- livello d'isolamento;
- portata;
- potere d'interruzione.

Il **livello d'isolamento** dei componenti deve essere scelto in relazione alla tensione massima di riferimento per l'isolamento (tensione per la quale deve essere isolato il sistema a cui il componente appartiene); quest'ultima dipende a sua volta dalla tensione d'esercizio; da tabelle appositamente predisposte ad una tensione concatenata di 20 kV corrisponde una tensione di riferimento per isolamento V_M pari a 24 kV.

La **portata** deve essere calcolata in relazione alla corrente nominale primaria I_{1n} che circola nel componente in condizioni normali d'esercizio; questa viene calcolata conoscendo la tensione al primario del trasformatore V_{1n} (che corrisponde alla tensione d'esercizio) e la potenza apparente dei trasformatori S_n .

Risulta:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_{1n}} = \frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 20000} = 14,4 \text{ A}$$

Il **potere d'interruzione** deve essere calcolato in base alla corrente di cortocircuito a monte del trasformatore.

Per il calcolo della corrente di cortocircuito I_{cc1} risulta

$$I_{cc1} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V_M} = \frac{600000}{\sqrt{3} \cdot 24000} = 14,4 \text{ kA}$$

essendo S_{cc} la potenza apparente di cortocircuito (un dato fornito dalla società distributrice).

Sezionatore e interruttore devono essere scelti in modo tale che vengano rispettate le seguenti condizioni:

- portata superiore a 14,4 A;
- potere d'interruzione superiore a 14,4 kA.

Scelta delle apparecchiature lato bassa tensione

Il dimensionamento delle apparecchiature di manovra e protezione lato bassa tensione deve avvenire in base ai seguenti fattori:

- *portata relativa al montante principale;*
- *portata relativa alle derivazioni;*
- *potere d'interruzione relativo al montante principale;*
- *potere d'interruzione relativo alle derivazioni.*

La **portata relativa al montante principale** viene calcolata utilizzando la relazione:

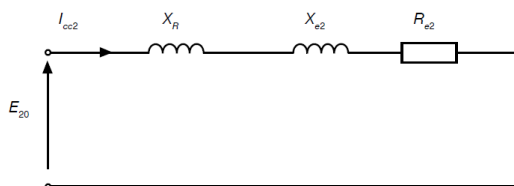
$$I_{2n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_{20}} = \frac{500000}{\sqrt{3} \cdot 420} = 688 \text{ A}$$

in cui V_{20} è la tensione a vuoto al secondario del trasformatore.

La **portata relativa alle derivazioni** viene calcolata tenendo conto delle potenze relative alle varie utenze (calcoli effettuati in precedenza).

Il **potere d'interruzione** deve essere riferito alla *corrente di corto circuito a valle del trasformatore*.

Per il calcolo della corrente di corto circuito I_{cc2} è sufficiente la conoscenza della tensione secondaria a vuoto V_{20} del trasformatore e dell'impedenza complessiva della rete a monte del trasformatore e del secondario del trasformatore in accordo con il circuito riportato in figura.



Nel calcolo dell'impedenza a monte del trasformatore si prende in considerazione la sola reattanza X_R .

Risulta:

$$X_R = \frac{3 \cdot E_{20}^2}{S_{cc}} = \frac{3 \cdot 242^2}{600000} = 0,29 \text{ m}\Omega$$

Per il calcolo dell'impedenza totale Z_t risulta la relazione

$$Z_t = \sqrt{(R_{e2})^2 + (X_R + X_{e2})^2} = \sqrt{(2,5)^2 + (0,29 + 4,73)^2} = 5,6 \text{ m}\Omega$$

essendo R_{e2} e X_{e2} i parametri del circuito equivalente al secondario del trasformatore. Per il calcolo della corrente di corto circuito risulta quindi:

$$I_{cc2} = \frac{V_{20}}{\sqrt{3} \cdot Z_t} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 5,6} = 43,3 \text{ kA}$$

L'interruttore posto sul secondario del trasformatore deve essere scelto in modo tale che:

- la portata risulti superiore a 688 A;
- il potere d'interruzione risulti superiore a 43,3 kA.

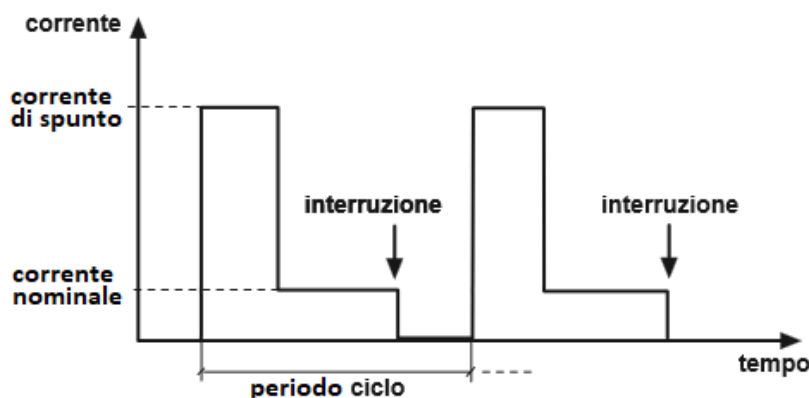
Gli interruttori posti sulle linee che alimentano i carichi devono essere scelti in modo tale che:

- la portata risulti rispettivamente superiore ai valori calcolati in precedenza;
- il potere d'interruzione risulti superiore a 43,3 kA.

QUESITO 4

Si consideri un motore asincrono trifase a gabbia che aziona ad esempio un nastro trasportatore.

Il ciclo di lavoro proposto corrisponde a quello riportato in figura; trattasi di un servizio ciclico o intermittente; l'interruzione della corrente si effettua quando il motore ha completato la fase di avviamento.



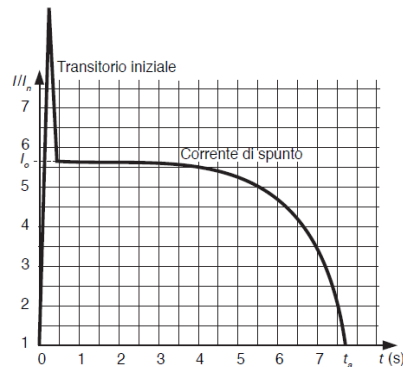
Il dispositivo di manovra tipico è il contattore che nel caso in questione deve appartenere alla categoria AC3.

Nella fase che segue l'avviamento gli avvolgimenti del motore sono sottoposti a tensione, ma la velocità è ancora nulla.

In questa fase, detta di cortocircuito, il motore assorbe un'elevata corrente di spunto; l'energia assorbita, non potendo ancora convertirsi in energia meccanica, è quasi totalmente convertita in calore per effetto Joule.

Con l'avviamento del rotore la corrente si riduce fino ad assumere il valore nominale in corrispondenza di una velocità vicina a quella massima.

La situazione è illustrata nel grafico seguente che mostra l'andamento della corrente, espressa come multiplo della corrente nominale (rapporto I/I_n), in funzione del tempo t .



La corrente del motore ha un transitorio iniziale di pochi ms dovuto alla bassa impedenza apparente nell'istante di avviamento.

In questo breve intervallo la corrente istantanea può giungere ad un valore venti volte superiore a quello nominale.

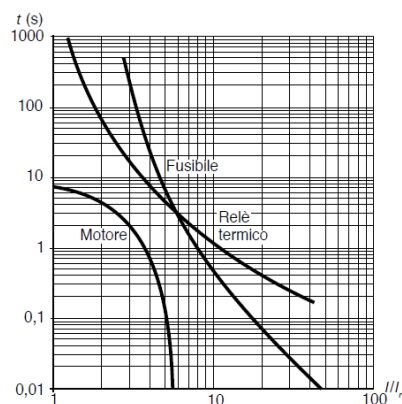
I ritardi di funzionamento delle protezioni devono essere tali da non provocare il loro intervento e da fare in modo che il transitorio si esaurisca senza danni.

Superata tale fase la corrente di spunto può assumere valori che vanno generalmente dalle sei alle otto volte il valore della corrente nominale.

Per la protezione si possono utilizzare due dispositivi distinti, il fusibile e il relè termico, che proteggono rispettivamente contro cortocircuiti e sovraccarico termico.

Per un corretto coordinamento delle protezioni occorre confrontare le curve di intervento dei dispositivi con le correnti di spunto in modo da scongiurare un intervento indesiderato durante la fase di avviamento.

La figura mostra la caratteristica di avviamento del motore insieme alle curve di intervento del fusibile e del relè termico.



La curva di intervento del relè termico si rivela adatta per la protezione del motore alle basse correnti.

Oltre un certo limite il relè termico rischia la distruzione e subentra quindi il fusibile, il cui campo di protezione può spingersi a correnti superiori per giungere fino a quella di

cortocircuito senza preoccuparsi dei rischi di distruzione, che in questo caso rappresenta invece proprio la modalità con cui viene attuata l'interruzione richiesta.

Per evitare l'interruzione del circuito in fase di avviamento occorre che le caratteristiche delle due curve siano esterne a quella di avviamento del motore.

La scelta del contattore deve essere coordinata con quella dei dispositivi di protezione; in particolare si deve verificare che:

- il potere d'interruzione del contattore deve risultare maggiore del valore di corrente corrispondente al punto d'incontro tra le caratteristiche del relè termico e del fusibile;
- l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione durante il corto circuito deve essere inferiore a quella sopportabile dal contattore.

I costruttori mettono a disposizione delle tabelle come quella di seguito riportata che consentono il dimensionamento dei dispositivi di protezione prendendo come riferimento la potenza del motore e la corrente assorbita.

Motore		Contattore	Relè termico	Fusibili	
<i>P</i> (kW)	<i>I</i> (A)			<i>gG</i>	<i>aM</i>
<i>P</i> (kW)	<i>I</i> (A)	<i>I</i> (A)	<i>I</i> (A)	<i>I</i> (A)	<i>I</i> (A)
3	6,6	30	6 ÷ 10	20	10
4	8,5	30	6 ÷ 10	25	12
5,5	11,5	30	9,5 ÷ 15,5	25	16
7,5	15,5	40	14 ÷ 22	32	20
11	22	45	14 ÷ 22	50	32
15	30	54	20 ÷ 32	63	40
18,5	37	75	30 ÷ 50	80	50
22	45	75	30 ÷ 50	100	63
30	60	110	45 ÷ 65	100	80

A partire dalla corrente assorbita (15,5 A) vengono evidenziate le caratteristiche che devono avere i dispositivi di manovra e protezione:

- corrente nominale del contattore 40 A che può sopportare allo spunto correnti di intensità superiore a 180 A;
- corrente d'intervento del relè termico regolabile da 14 A a 22 A;
- fusibili *aM* con corrente nominale 20 A.