

Teoria Professionale

Elettrotecnica per il terzo anno



A cura del Prof. Valerio Zavagno

Sommario

1	Sistemi trifase	4
1.1	Cos'è un sistema trifase	4
1.2	Come si genera un sistema trifase	5
1.3	Sistema trifase su carichi equilibrati.....	6
1.4	Distribuzione a stella.....	7
1.5	Tensioni di linea e di fase	8
1.6	Collegamento dei carichi a stella	9
1.7	Collegamento dei carichi a triangolo.....	11
1.8	Conclusioni	12
2	Sistemi di distribuzione	14
2.1	Sistema TT	15
2.2	Sistema IT	16
2.3	Sistema TN.....	18
3	Generatori elettrici	19
3.1	L'alternatore.....	20
3.2	La dinamo.....	21
4	Motori elettrici	22
4.1	Motori sincroni	22
4.2	Motori asincroni	23
5	Produzione di energia elettrica	27
5.1	Energia eolica.....	27
5.2	Energia idroelettrica.....	28
5.3	Gruppo turbogas.....	29
5.4	Energia geotermica.....	30
5.5	Centrale elettronucleare	33
5.6	Energia marina	34

5.7	Energia solare.....	34
6	Misure elettriche	36
6.1	Misura della resistenza di terra	36
6.2	Tensione di contatto U_C	38
6.3	Tensione di passo U_P	39
7	Sicurezza.....	40
7.1	Contatti diretti.....	40
7.2	Contatti indiretti.....	40
7.3	Correnti di sovraccarico	41
7.4	Correnti di corto circuito.....	41
7.5	Sovratensioni.....	41
7.6	Manutenzione	42
7.7	Normative elettriche (alla data di maggio 2013)	42
7.8	Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI).....	43
8	Appendice 1: l'interruttore differenziale.....	44
9	Appendice 2: l'interruttore magnetotermico	47

1 Sistemi trifase

1.1 Cos'è un sistema trifase

Pensiamo all'impianto elettrico di casa. In esso è presente un'unica tensione, "portata" dal cavo di fase, che si "chiude" sul cavo di neutro dopo aver attraversato i nostri utilizzatori. Il terzo cavo presente in casa è quello di protezione (o cavo equipotenziale, anche detto di terra nonostante quest'ultimo nome non sia del tutto corretto). Il nostro impianto di casa è dunque un **impianto monofase, cioè un impianto dove è presente una sola tensione**.

Esistono impianti in cui è necessario ricorrere a più tensioni; si chiamano **sistemi polifase** gli impianti in cui **sono presenti più tensioni** (intese non come valori diversi, ma come conduttori che "portano" tensione) **che presentano un diverso angolo di sfasamento tra loro**.

Un sistema polifase si dice **equilibrato** se i generatori che lo costituiscono differiscono solo per lo sfasamento tra loro, avendo stessa tensione, stessa frequenza e stesso valore efficace.

Qui in particolare ci occuperemo dei **sistemi trifase**, costituiti da tre generatori con le caratteristiche sopra espresse. Questi sistemi sono i più diffusi in ambito industriale, sia nella produzione, che nel trasporto e nel consumo di energia elettrica.

Un sistema trifase è dunque costituito da tre generatori sinusoidali che hanno la stessa tensione, la stessa frequenza e lo stesso valore efficace, ma che presentano uno sfasamento diverso tra loro. Nello specifico lo sfasamento che presentano questi tre generatori è di 120° , cioè un terzo del periodo (esattamente $360^\circ:3$).

Graficamente le tre sinusoidi relative alle tre fasi si rappresentano come nel grafico qui sotto:

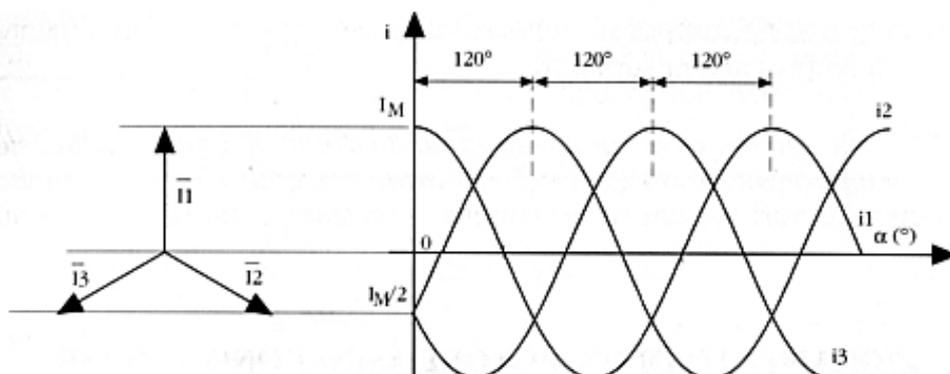


Figura 1: sistema trifase

Osservando la figura riportata qui sopra, appare evidente come, ogni volta che una sinusoide raggiunge il suo picco massimo (positivo o negativo che sia), le altre due si incrocino (con segno opposto al picco della prima). Questa condizione fa sì che la somma delle tre tensioni, in ogni istante di tempo, sia sempre pari a zero: $E_1 + E_2 + E_3 = 0$.

1.2 Come si genera un sistema trifase

Nella pratica un sistema trifase è generato da un'unica macchina elettrica (chiamata **alternatore trifase**) al cui interno sono presenti tre indotti (avvolgimenti che se messi in movimento dentro un campo magnetico generano per induzione magnetica una forza elettromotrice). Questi tre avvolgimenti sono fisicamente realizzati su un "anello" circolare e disposti con un angolo di 120° l'uno dall'altro (la posizione più lontana possibile tra loro).

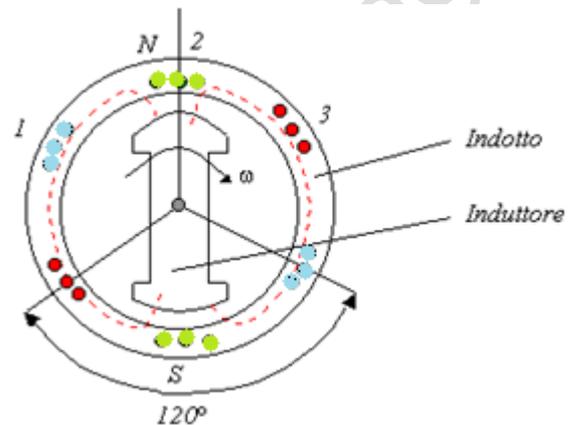


Figura 2: Alternatore trifase

Possiamo quindi rappresentare un sistema trifase come tre induttori-generatori di forza elettromotrice e rappresentarlo come nella figura riportata qui sotto:

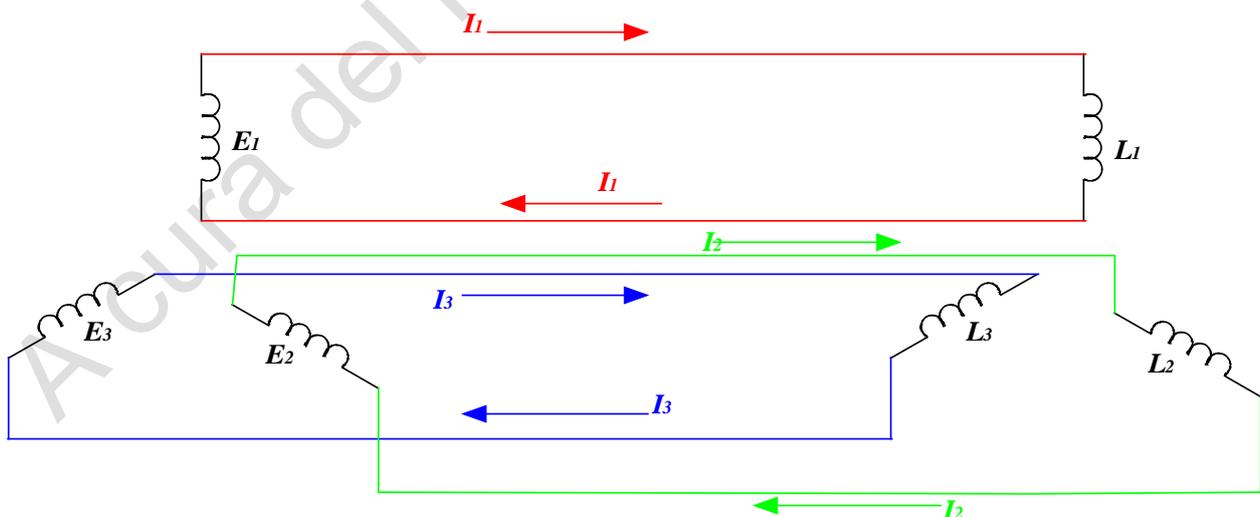


Figura 3: Schema della cosiddetta "distribuzione a sei fili"

Lo schema qui riportato è detto di "distribuzione a sei fili", ma è usato molto raramente.

1.3 Sistema trifase su carichi equilibrati

Equilibrare il sistema trifase con dei carichi, significa fare in modo che la somma delle tre correnti della figura 3 è pari a zero in ogni istante. Infatti per ciascuna fase vale la relazione:

$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1}; \quad I_2 = \frac{E_2}{Z_2}; \quad I_3 = \frac{E_3}{Z_3};$$

quindi si può dire che la somma delle tre correnti vale:

$$I_1 + I_2 + I_3 = \frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2} + \frac{E_3}{Z_3}$$

Se vale la condizione che: $Z_1 = Z_2 = Z_3$ (di carichi equilibrati), allora l'espressione scritta sopra diventa (facendo il minimo comune multiplo con tre denominatori uguali):

$$I_1 + I_2 + I_3 = \frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2} + \frac{E_3}{Z_3} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{Z_1}$$

Ricordando che la somma delle tre tensioni è nulla ($E_1 + E_2 + E_3 = 0$ perché il sistema è equilibrato), allora risulta evidente che:

$$I_1 + I_2 + I_3 = \frac{E_1}{Z_1} + \frac{E_2}{Z_2} + \frac{E_3}{Z_3} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{Z_1} = \frac{0}{Z_1} = 0 \quad \text{cioè} \quad I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Ciò significa che se un sistema trifase alimenta tre carichi equilibrati, la somma delle correnti di ritorno è pari a zero. Quindi se la corrente è zero, possiamo eliminare i tre conduttori di ritorno, passando da un sistema a sei cavi, ad uno a tre cavi come nello schema riportato qui sotto:

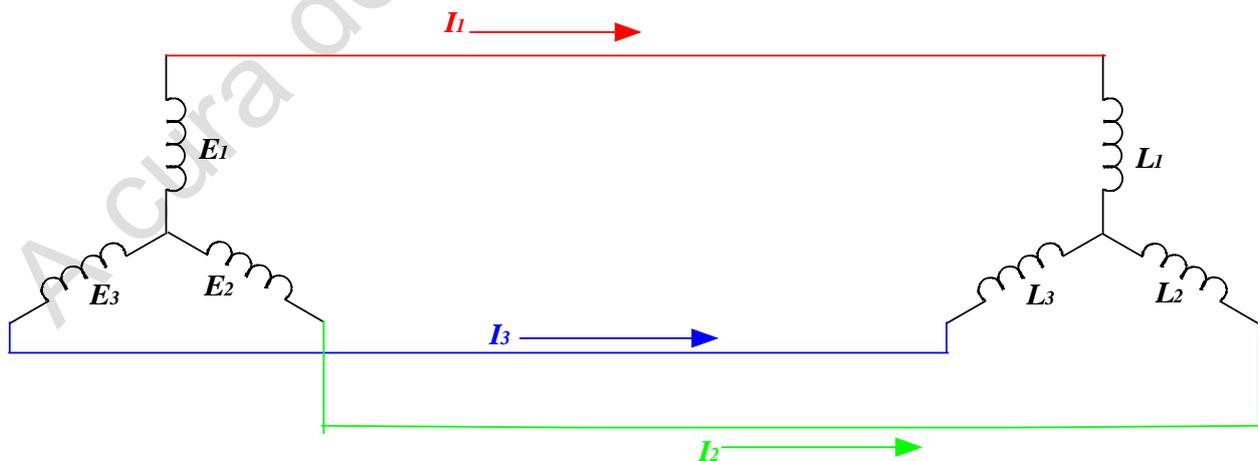


Figura 4: Sistema trifase che alimenta tre carichi senza cavi di ritorno

1.4 Distribuzione a stella

Nella realtà la condizione di carico equilibrato si verifica con estrema difficoltà, anche a causa dello sfasamento offerto dai tre carichi. Questo significa che la somma delle tre correnti di ritorno non sarà pari a zero e sarà necessario un conduttore che riporti tale corrente "a casa". Questo conduttore, percorso da correnti di valore poco significativo, prende il nome di **conduttore di neutro**. Lo schema che rappresenta questo tipo di distribuzione si chiama **a stella** ed è qui sotto rappresentato:

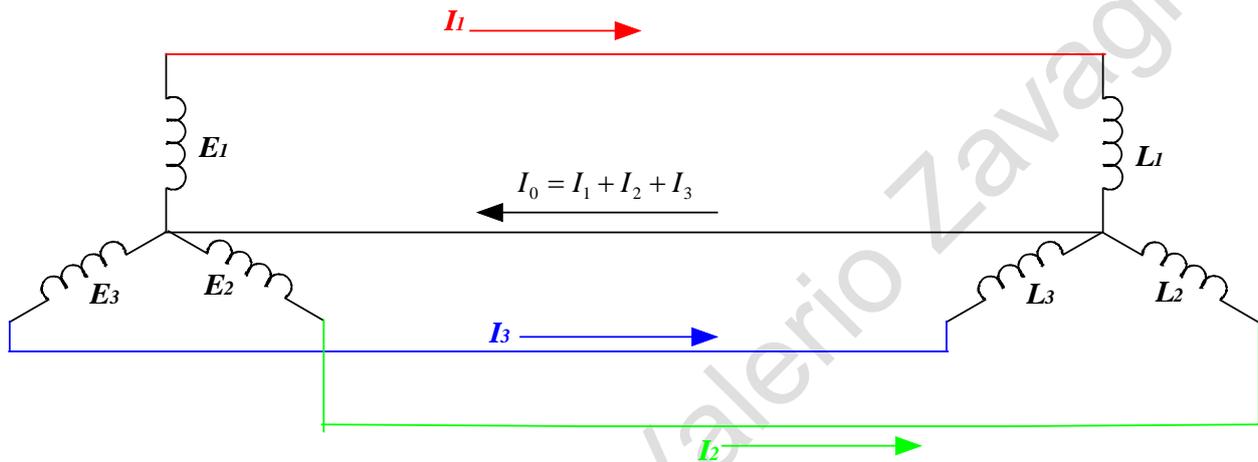
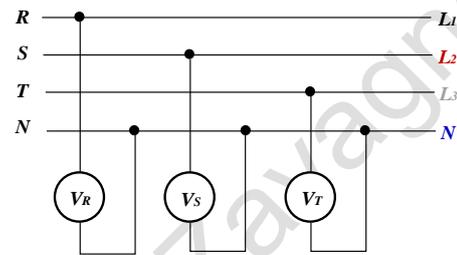
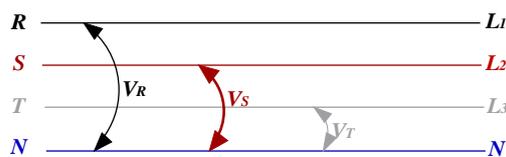


Figura 5: Collegamento a stella con neutro

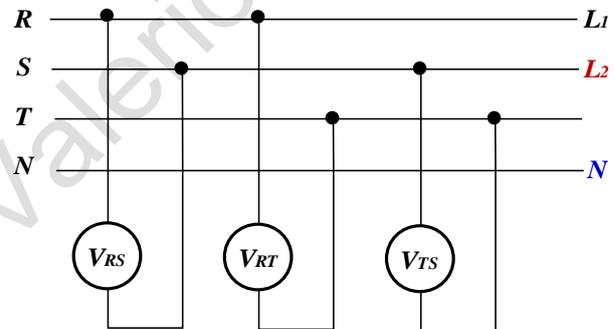
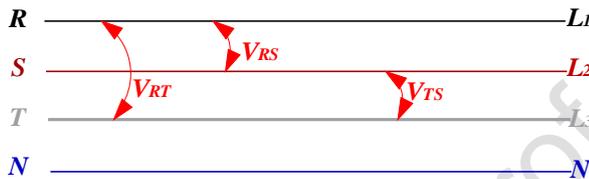
In questo tipo di distribuzione, il valore della corrente che percorre il conduttore di neutro vale: $I_N = I_1 + I_2 + I_3$

1.5 Tensioni di linea e di fase

Un sistema trifase è composto, come abbiamo visto, da tre conduttori di fase (che solitamente si indicano con le lettere R, S e T, oppure con le sigle L_1 , L_2 ed L_3); questi tre conduttori sono collegati direttamente ai tre avvolgimenti generatori. Oltre a questi tre conduttori, c'è un quarto conduttore, quello di neutro (indicato con la lettera N). In un sistema così composto avremo a disposizione tre tensioni di fase:



e tre tensioni di linea o concatenate:



La relazione che lega le due tensioni, di fase e concatenata, è la seguente:

$V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$ dove con V_L è indicata la tensione di linea e con V_F quella di fase.

Cioè la tensione di linea è 1,73 volte quella di fase.

Se la tensione di fase è di 230V, allora la tensione di linea è $230 \cdot \sqrt{3} = 398,37 \approx 400V$

1.6 Collegamento dei carichi a stella

I sistemi trifase si presentano normalmente con quattro conduttori: i tre conduttori di fase e il conduttore di neutro. Se i carichi sono collegati tra la tensione di fase ed il neutro, avranno tutti un punto in comune (quello sul neutro) come nello schema riportato nella figura qui sotto:

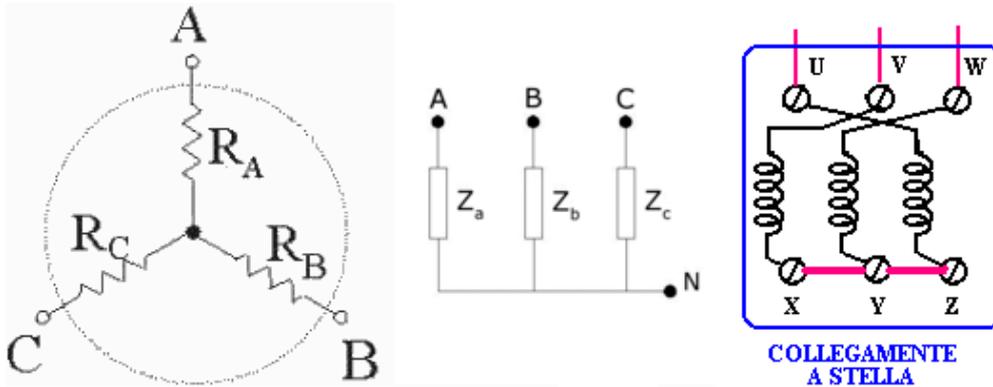


Figura 6: Carichi di un sistema trifase collegati a stella

Questo tipo di collegamento si dice **collegamento a stella**.

Un altro modo di rappresentare graficamente il collegamento a stella è quello tipico degli schemi circuitali, vale a dire:

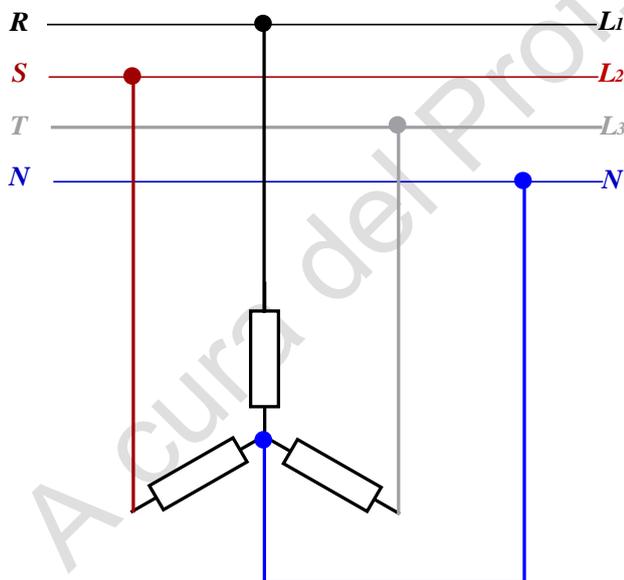


Figura 7: rappresentazione circuitali del collegamento a stella

Il punto in comune dei carichi, quello in cui sono tutti collegati al neutro, si chiama **centro stella**.

Supponiamo che i tre carichi siano identici. Nel centro stella le correnti si eliminano vicendevolmente ed il conduttore di neutro non è percorso da corrente. In queste condizioni ogni carico è sottoposto alla tensione di fase e percorso da una corrente di fase.

La potenza dissipata su ogni carico è dunque:

$$P_1 = V_R \cdot I_R \cos \varphi \quad \text{dove } I_R = I_1 = \frac{V_R}{Z_1};$$

$$P_2 = V_S \cdot I_S \cos \varphi \quad \text{dove } I_S = I_2 = \frac{V_S}{Z_2};$$

$$P_3 = V_T \cdot I_T \cos \varphi \quad \text{dove } I_T = I_3 = \frac{V_T}{Z_3};$$

La potenza totale viene calcolata come: $P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3$

Se il sistema è equilibrato, cioè se le tensioni di fase sono uguali e sfasate di 120° , e se è equilibrato anche il carico, cioè anche i carichi sono uguali, allora:

$$V_R = V_S = V_T \quad \text{e} \quad Z_1 = Z_2 = Z_3$$

Quindi anche le correnti avranno lo stesso valore: $I_1 = I_2 = I_3$.

Detto questo, si può intuire, con un po' di attenzione, che la potenza assorbita da ogni singolo carico sarà identica e che quindi quella totale sarà: $P_{tot} = 3 \cdot P_1 = 3 \cdot P_2 = 3 \cdot P_3$

1.7 Collegamento dei carichi a triangolo

In un sistema trifase, i carichi si possono collegare anche tra due fasi, senza essere collegati al neutro. In questo caso, il collegamento si chiama **collegamento a triangolo** e si può rappresentare come riportato qui sotto:

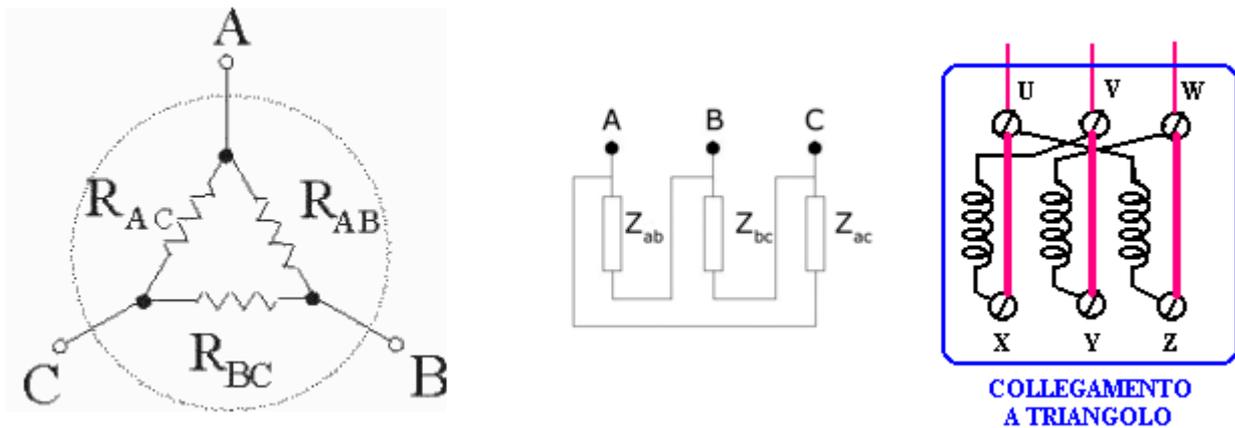
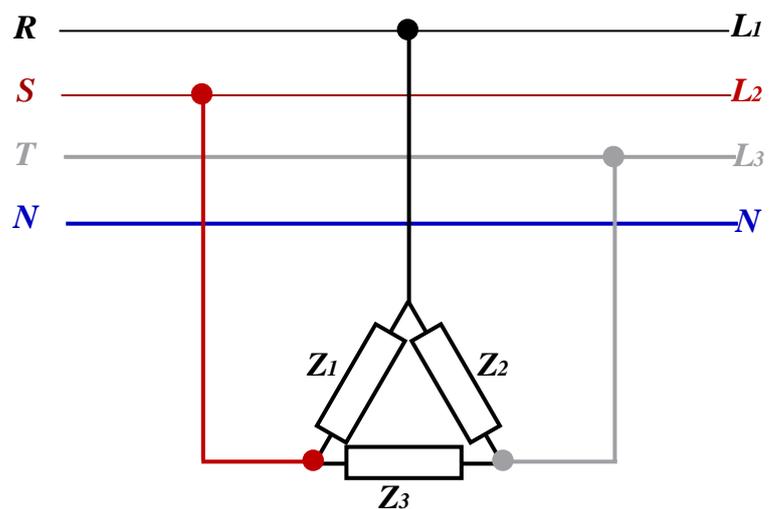


Figura 8: Collegamento a triangolo

Un altro modo di rappresentare il collegamento a triangolo, secondo il tipico schema circuitale, è il seguente:

Figura 9: schema circuitale del collegamento a triangolo



Come si può notare, a differenza del collegamento a stella che sottopone ogni carico alla tensione di fase, **nel collegamento a triangolo ogni carico è sottoposto alla tensione concatenata**, quindi ad un valore di tensione maggiore (esattamente 1,73 volte più grande). Ai capi del carico Z_1 , ad esempio, troveremo una tensione $V_{RS} = \sqrt{3} \cdot V_R$.

La stessa cosa, tra linee diverse, avviene per gli altri due carichi Z_2 e Z_3 .

Le correnti assorbite dai tre carichi saranno quindi:

$$I_{RS} = I_1 = \frac{V_{RS}}{Z_1} \qquad I_{RT} = I_2 = \frac{V_{RT}}{Z_2} \qquad I_{ST} = I_3 = \frac{V_{ST}}{Z_3}$$

Come visto per le tensioni, anche per le correnti esiste un fattore $\sqrt{3}$ che differenzia la corrente di linea (o concatenata) da quella di fase; per le correnti, infatti, vale la relazione:

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_F.$$

Per quanto riguarda la potenza assorbita dai carichi, nella configurazione a triangolo vale la stessa relazione usata per i carichi stellati. Si può dimostrare con poca matematica e qualche formula inversa che, essendo $V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$ e $I_L = \sqrt{3} \cdot I_F$, allora sarà $P = V_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = V_F \cdot I_F \cdot \cos \varphi$ (poiché i due fattori $\sqrt{3}$ si semplificano uno con l'altro...)

1.8 Conclusioni

Il sistema trifase descritto in questo capitolo, è la base su cui poggia la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica. La produzione di energia elettrica avviene attraverso alternatori trifase; l'energia così prodotta è trasformata da trasformatori trifase ed inviata alle industrie. Queste la utilizzano con carichi trifase quali motori, forni o altri tipi di utilizzatori. La tensione trifase distribuita alle aziende ha un valore efficace di circa 380V, dal quale nasce la tensione la tensione monofase che poi viene distribuita nelle nostre case, con un valore efficace di circa 230V.

In Italia, il sistema trifase è costituito da quattro conduttori: tre di fase (R, S e T, oppure L_1 , L_2 ed L_3) e uno di neutro (N). In più c'è poi il conduttore di protezione. In accordo con quanto previsto dalla normativa vigente:

- **il conduttore di neutro è sempre ricoperto da una guaina isolante di colore blu;**
- **i conduttori di fase sono sempre ricoperti da guaine isolanti di colore nero, marrone o grigio** (in questo modo si possono anche distinguere le tre linee...);
- **il conduttore di protezione è sempre ricoperto da una guaina isolante di colore giallo-verde.**

Per i conduttori di fase si possono usare anche colori quali bianco e rosso, ma hanno minore diffusione.

Le norme CEI 16-4 / EN 60446 (*Individuazione dei **conduttori** tramite colori o codici numerici*) stabiliscono per i cavi elettrici energia, un preciso codice colore.

Ovvero, la destinazione d'uso e la conseguente individuazione di un cavo, è gestita tramite una codifica a colori; così ogni conduttore è contraddistinto da una guaina o da una colorazione di differente colore, sia a tinta unita, sia a strisce alternate di due diversi colori.

Utilizzo	Colore Guaina	Altre Colorazioni
Consigliato come conduttore di fase	Nero	-
Consigliato come conduttore di fase	Marrone	-
Per uso generale	Rosso	-
Per uso generale	Arancio	-
Per uso generale se non confondibile	Giallo	-
Per uso generale se non confondibile	Verde	-
Conduttore di neutro o mediano	Blu Chiaro	-
Per uso generale	Viola	-
Per uso generale	Grigio	-
Per uso generale	Bianco	-
Per uso generale	Rosa	-
Per uso generale	Turchese	-
Conduttore di protezione (PE)	Giallo - Verde	-
Conduttore PEN	Blu Chiaro	Marcature Giallo - Verde alle terminazioni
Conduttore PEN	Giallo - Verde	Marcature Blu Chiaro alle terminazioni
Conduttore di neutro o mediano nudo quando identificato mediante colore	-	Nastro Blu Chiaro, largo da 15 a 100mm, in tutte le tratte visibili ed accessibili del cavo Colorazione Blu Chiaro per tutta la lunghezza
Conduttore di neutro o mediano nudo quando identificato mediante colore	-	Nastro bicolore Giallo - Verde, largo da 15 a 100mm, in tutte le tratte visibili ed accessibili del cavo Colorazione Giallo - Verde per tutta la lunghezza

2 Sistemi di distribuzione

I sistemi di distribuzione sono i modi in cui l'energia elettrica viene trasportata e distribuita in tutto l'impianto. Tutti i sistemi di distribuzione hanno due "lati": il "lato fornitore" (cioè come ha collegato il suo sistema trifase chi ci fornisce energia elettrica) e il "lato utente" (cioè come abbiamo collegato noi i conduttori trifase).

Prima di procedere è necessario dare qualche definizione. Con il termine **massa** si indicano tutte quelle parti metalliche che normalmente non sono in tensione, ma che potrebbero andare in tensione a causa di un malfunzionamento. Con la sigla PE si indica il conduttore di protezione; con la sigla PEN il conduttore di neutro quando svolge anche la funzione di conduttore di protezione.

Alla luce di questa definizione, procediamo.

Del "lato fornitore" interessa come è collegato il conduttore di neutro, del "lato utente" interessa come sono collegate le masse. In base a questi collegamenti, si identificano i seguenti sistemi di distribuzione:

- Sistema TT
- Sistema IT
- Sistema TN, che si divide poi in:
 - TN-C
 - TN-S

2.1 Sistema TT

Sistema **TT**: neutro a terra (“lato fornitore”) e masse a terra (“lato utente”); è il sistema adoperato negli impianti civili e a bassa potenza. Questo sistema è detto Terra-Terra (TT), di gran lunga il più usato in Italia per tutte le utenze private in bassa tensione.

Il neutro è messo a terra in cabina e in più punti lungo la linea di consegna.

L'impianto elettrico privato è solitamente messo a terra attraverso un proprio impianto e con un proprio dispersore. In questo modo in caso di guasto verso terra di un apparecchio, si crea una corrente di ritorno attraverso la terra che provoca lo scatto degli interruttori differenziali di protezione.

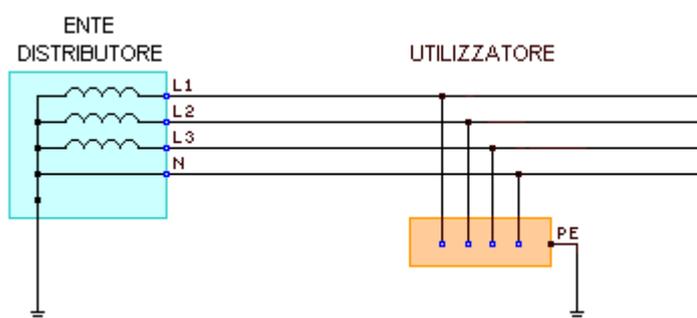


Figura 10: Schema di impianto TT

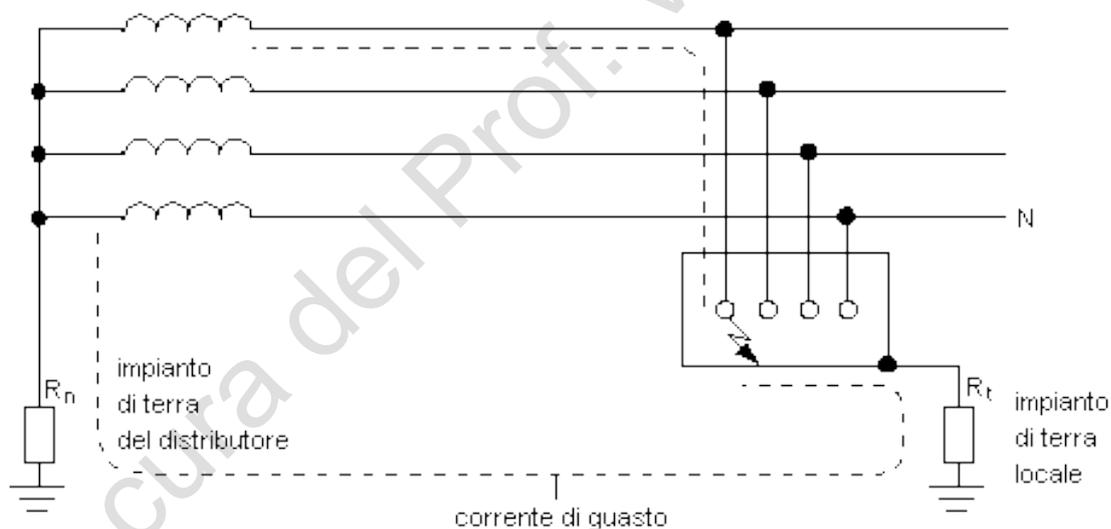


Figura 11: anello di guasto in un sistema TT

Un guasto tra una fase ed una massa determina la circolazione di una corrente di guasto che interessa contemporaneamente gli impianti di terra dell'utente e dell'ente distributore (cabina).

Il valore di tale corrente dipende dall'impedenza dell'anello di guasto (indicato in tratteggio nella figura 11) costituita essenzialmente dalle resistenze R_n e R_t dei due impianti di terra.

2.2 Sistema IT

Sistema **IT**: neutro isolato ("lato fornitore") e masse a terra ("lato utente") nel quale il neutro del trasformatore è "isolato" da terra, ovvero connesso a essa con un'impedenza di

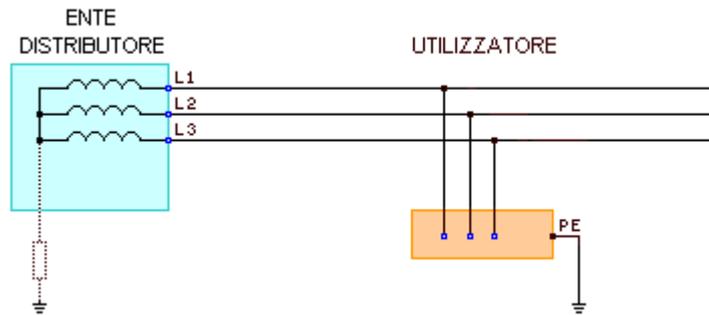


Figura 12: schema di impianto IT

valore molto elevato (migliaia di ohm), mentre i carichi sono normalmente alimentati e le loro masse sono connesse a un impianto di terra comune.

Nel caso di un guasto, a causa dell'"isolamento" del trasformatore, circolerà una corrente bassa e quindi non pericolosa; l'interruttore non scatta e le altre utenze connesse alla rete continueranno a essere alimentate. Un sistema del genere è molto utile in impianti ove è necessaria una fornitura costante di corrente, come negli ospedali. Una volta avvenuto il guasto si deve intervenire tempestivamente per isolarlo per evitare che (nel caso di un altro danno a un'apparecchiatura dello stesso impianto) scatti l'interruttore e si interrompa il servizio.

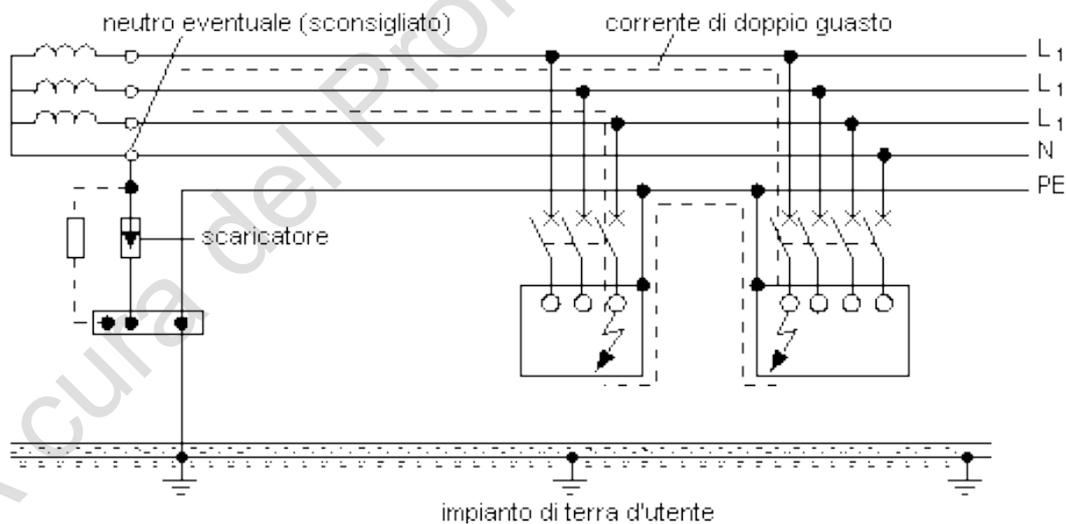


Figura 13: Anello di guasto per un sistema IT

Le masse possono essere collegate a terra in due modi:

- tutte allo stesso impianto di terra (come in figura 13);
- singolarmente o per gruppi ad impianti di terra separati.

In caso di guasto a terra la corrente di guasto può richiudersi solo attraverso le capacità dei conduttori sani verso terra, per cui risulta molto limitata; conseguentemente la sovrelevazione di tensione delle masse è contenuta entro valori non pericolosi.

Col primo guasto a terra il sistema si trasforma in sistema TN o TT a seconda che le masse siano connesse tutte allo stesso impianto di terra oppure connesse ad impianti di terra separati. Pertanto un secondo guasto su una fase diversa dà luogo ad una corrente di guasto di valore pericoloso.

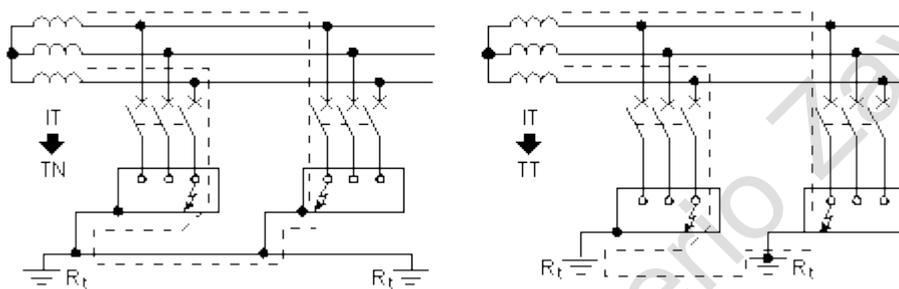


Figura 14: Anelli di primo guasto e secondo guasto

2.3 Sistema TN

Sistema **TN**: neutro a terra (“lato fornitore”) e masse al neutro (“lato utente”); questo sistema si suddivide in due sotto-sistemi a seconda dell’utilizzo dei conduttori di neutro e di protezione:

- Sistema TN-S: il conduttore di neutro è separato da quello di protezione;
- Sistema TN-C: il conduttore di neutro svolge anche funzione di conduttore di protezione e prende il nome di conduttore **Pen**

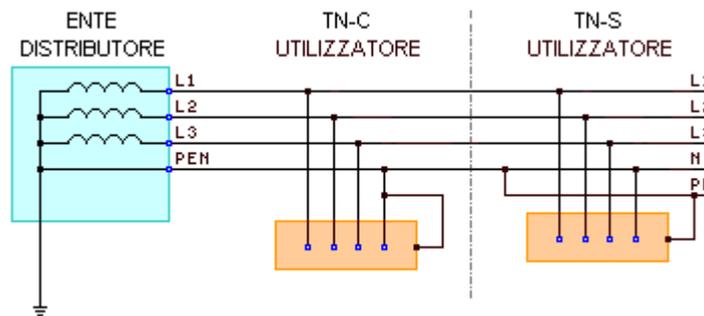


Figura 15: Schema di impianto TN con divisione tra TN-C e TN-S

Osservando la figura qui sopra, nota come nel sistema TN-C il neutro e la protezione siano in pratica lo stesso conduttore (che infatti è indicato con la sigla PEN); nel sistema TN-S i due conduttori si separano e compare il conduttore di protezione PE.

Un guasto sul lato bassa tensione è paragonabile ad un corto circuito dato che la corrente si richiude direttamente sul centro della stella del trasformatore interessando solo i conduttori di fase e quelli di protezione (il dispersore non viene quindi coinvolto).

Anche un guasto a terra sul secondario del trasformatore si traduce ancora in corto circuito.

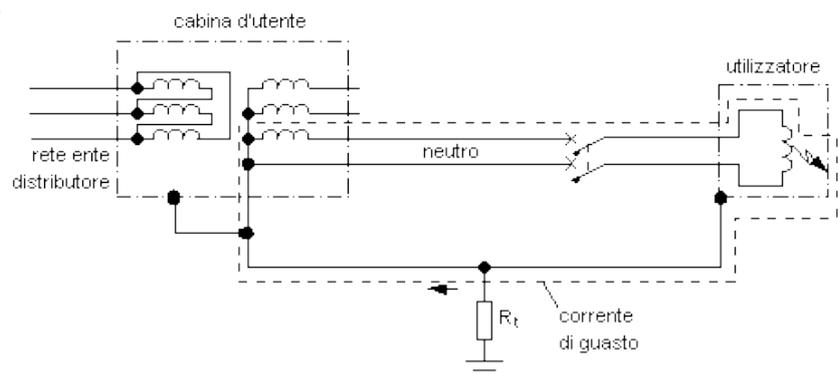


Figura 16: Anello di guasto per un sistema TN (lato bassa tensione)

Il criterio di protezione contro i contatti indiretti sul lato bassa tensione si basa sul fatto che in questo tipo di impianti il valore della resistenza di terra non è importante mentre risulta determinante il tempo di interruzione del circuito guasto.

3 Generatori elettrici

Un generatore elettrico è un dispositivo destinato a produrre energia elettrica a partire da una diversa forma di energia, quali l'energia meccanica (rotazione), l'energia chimica (reazioni chimiche dette di ossidoriduzione), l'energia luminosa (pannelli fotovoltaici) o più raramente, direttamente l'energia termica (usati appunto molto raramente, sfruttano la radioattività di determinati elementi).

Un generatore di tensione può essere indicato con uno dei seguenti simboli:

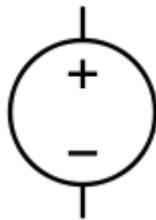


Figura 17: Simbolo di un generatore di tensione ideale

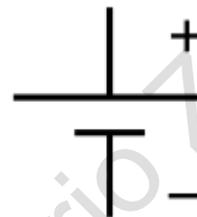


Figura 18: Simbolo di una pila

Si dividono in due grandi categorie: **alternatori** e **dinamo**.

Un generatore è sostanzialmente composto da tre parti:

- **Rotore:** riceve il moto dall'esterno e gira su se stesso (è l'unica parte in movimento della macchina);
- **Statore:** è la parte fissa della macchina (ferma e non si muove);
- **Carcassa:** è la parte che racchiude, contiene e protegge le altre due parti.

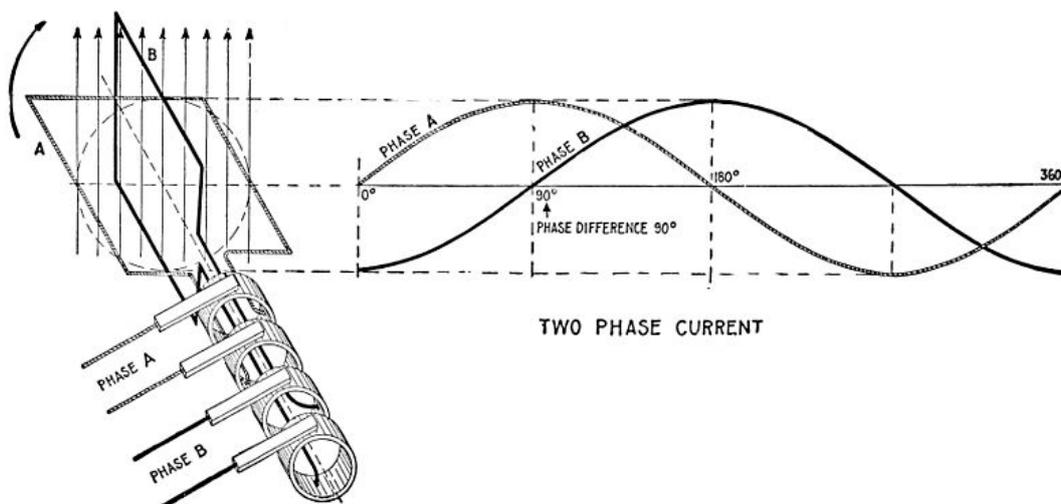


Figura 19: Schema del principio di funzionamento di un alternatore a due fasi

3.1 L'alternatore

L'alternatore é una macchina che trasforma l'energia meccanica in corrente elettrica alternata, che presenta la caratteristica di variare continuamente verso, in modo alterno ed ad intervalli regolari di tempo. L'energia meccanica è fornita da motori: turbine idrauliche, a vapore o a gas, motori a carburazione e Diesel.

Il principio di funzionamento dei generatori elettromeccanici è basato sul fenomeno della induzione elettromagnetica.

Per meglio comprendere il tutto è necessario far riferimento a concetti elementari riguardanti le comuni calamite, chiamate scientificamente magneti.

Come tutti sapete, caratteristica delle calamite è quella

di attrarre i materiali ferrosi all'interno di uno spazio detto "campo magnetico". Anche la corrente elettrica è in grado di generare un campo magnetico: per verificarlo è sufficiente avvolgere, intorno ad un pezzetto di ferro, un certo numero di spire di rame. Collegando le due estremità del filo di rame ad una tensione variabile nel tempo, il ferro diventa magnetico e in grado di attrarre altri pezzi di ferro. Il dispositivo appena descritto prende il nome di elettrocalamita e trova impiego in diversi congegni: suonerie elettromeccaniche, serrature elettriche, relè, ecc.



Figura 21: elettrocalamita

Faraday (1791-1827) a dimostrare la capacità da parte di un campo magnetico variabile di generare una corrente elettrica indotta in un conduttore; su questo principio si basa il funzionamento dell'alternatore.

L'alternatore è costituito da un magnete o elettromagnete fisso (indotto), destinato a creare il flusso magnetico. Al centro dell'induttore è disposto un nucleo di ferro intorno al quale è avvolto un conduttore isolato (indotto) i cui due terminali sono collegati a due spazzole, destinate a raccogliere la corrente che si produce nell'indotto.

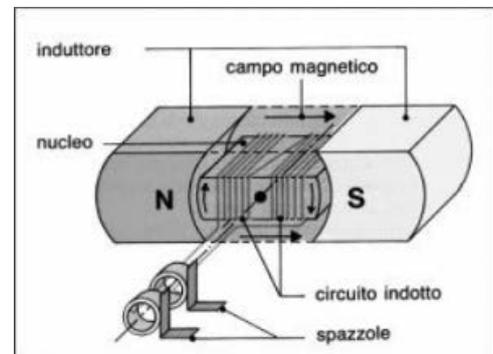


Figura 20: alternatore monofase

Se, come visto, una corrente elettrica è in grado di generare un campo magnetico, è possibile trasformare un campo magnetico in corrente elettrica? La risposta è sì. Fu

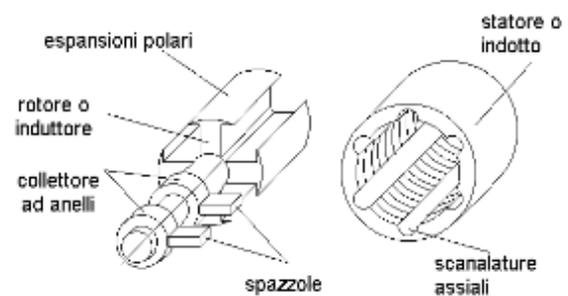


Figura 22: parti di un alternatore

Infatti, quando una delle due parti (indotto o induttore) entra in rotazione, grazie al fenomeno dell'induzione elettromagnetica, si genera una corrente elettrica nell'indotto che viene raccolta dalle spazzole e da queste trasmessa agli utilizzatori.

3.2 La dinamo

Una dinamo è una macchina rotante per la trasformazione di lavoro meccanico in energia elettrica, sotto forma di corrente continua (DC, per gli inglesi, direct current) assumendo così la funzione di trasduttore (cioè di elemento che "traduce" in energia elettrica un'altra forma di energia).

Nella sua forma più semplice consiste di una spira conduttrice (rotore) immersa in un campo magnetico (generato ad esempio da una coppia di magneti permanenti, i quali formano lo statore) e messa in rotazione da un albero. Per la legge di Faraday sull'induzione, un conduttore che si muove in un campo magnetico (purché non parallelamente ad esso) vede nascere una forza elettromotrice indotta (FEM); chiudendo

quindi la spira su un carico elettrico (ad esempio una lampadina, o un accumulatore) si può misurare una corrente che scorre nella spira stessa e nel carico (la lampadina si accende). Se ci fermassimo qui, però, la dinamo non funzionerebbe. Fin qui la corrente è tutt'altro che continua, infatti la differenza di potenziale nella singola spira varia con legge sinusoidale con l'angolo di rotazione e quindi cambia segno ogni mezzo giro (producendo corrente alternata). È quindi necessario connettere i capi della spira ad un oggetto chiamato "collettore" o "commutatore", calettato sul rotore (cioè sagomato in modo tale che risulti complementare al rotore in modo da costituire una connessione ad incastro) e solidale ad esso (cioè che si muova come fossero un tutt'uno). Attraverso un contatto strisciante con spazzole (dette carboncini), scambia i capi della spira ogni mezzo giro mantenendo la tensione in uscita sempre dello stesso segno.

Per motivi di corretto funzionamento ed efficienza energetica le realizzazioni reali sono leggermente più complesse, prevedendo diverse spire avvolte sul rotore lungo i 360° ognuna delle quali deve commutare i propri capi ogni mezzo giro. Inoltre, per potenze superiori a pochi watt, anche lo statore (quello che genera il campo magnetico) è "avvolto", cioè il campo magnetico è prodotto da spire avvolte sui poli statorici, all'interno delle quali scorre la corrente di induzione o di eccitazione.

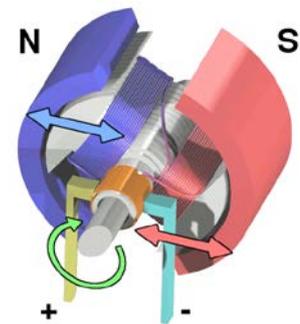


Figura 23: Dinamo

4 Motori elettrici

Col termine motore elettrico si definisce una macchina elettrica in cui la potenza di ingresso è di tipo elettrico e quella di uscita è di tipo meccanico, assumendo la funzione di attuatore. La divisione classica è tra motori in corrente continua (CC) e in corrente alternata (CA). Tuttavia non è una classificazione estremamente precisa, poiché esistono motori costruttivamente simili ai CC che possono essere alimentati anche in CA, chiamati motori universali. Diverse distinzioni si possono fare in base ad altri riferimenti: per esempio, la distinzione tra motori sincroni nei quali la frequenza di alimentazione è pari o un multiplo della frequenza di rotazione e asincroni in cui le due frequenze sono diverse; pertanto di solito le categorie in cui si classifica il motore elettrico sono motore asincrono, motore sincrono o motore in corrente continua.

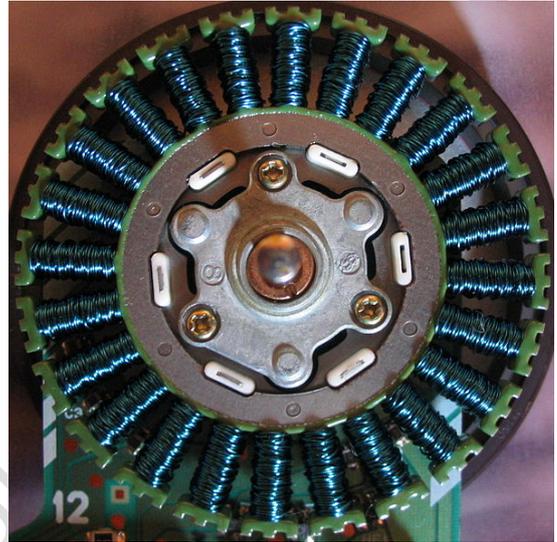


Figura 24: Particolare di un motore elettrico

4.1 Motori sincroni

Il motore sincrono è un tipo di motore elettrico in corrente alternata la cui velocità di rotazione è sincronizzata con la frequenza elettrica. Comunemente si tratta di motori con alimentazione trifase, ma i motori sincroni di piccola potenza sono spesso alimentati con la comune tensione monofase disponibile nelle abitazioni. Il motore sincrono è anche detto motore vettoriale o motore Rowan.

La stessa macchina elettrica che funge da motore sincrono può essere utilizzata anche come generatore elettrico, e in questo caso è detto alternatore; la maggioranza dei generatori elettrici è in effetti di questo tipo.

A causa della limitata praticità del motore sincrono, il suo uso con alimentazione diretta dalla rete è limitato a campi di applicazione ove sia richiesta una velocità di rotazione particolarmente precisa e stabile, per esempio nell'industria della carta, dove il perfetto sincronismo di diversi motori consente di evitare la rottura dei fogli. È invece molto usato per azionare carichi a velocità variabile dove è alimentato da convertitore statico (inverter).

Esistono anche piccoli motori sincroni ad avvio automatico ed alimentazione monofase utilizzati in meccanismi temporizzatori quali i timer delle lavatrici domestiche e un tempo in alcuni orologi, sfruttando la buona precisione della frequenza della rete elettrica.

4.2 Motori asincroni

Il motore asincrono è un motore elettrico in corrente alternata; la velocità angolare del suo rotore è inferiore alla velocità di rotazione del campo magnetico generato dagli avvolgimenti di statore: da qui l'asincronismo. Il motore asincrono è detto anche motore a induzione, in virtù del suo principio di funzionamento descritto qui di seguito.

Il motore asincrono può essere utilizzato come alternatore con o senza l'utilizzo di condensatori a seconda che venga collegato alla rete o no. È utilizzato per piccole potenze, in occorrenze nelle quali si preferisce la facilità d'impiego rispetto al motore sincrono (che richiede l'uso di inverter) anche a discapito del rendimento. Tuttavia il rendimento è in funzione della potenza massima, e può andare dal 60-70% (per piccoli motori fino a qualche kW) al 95-97% (per motori fino a 100-200kW).

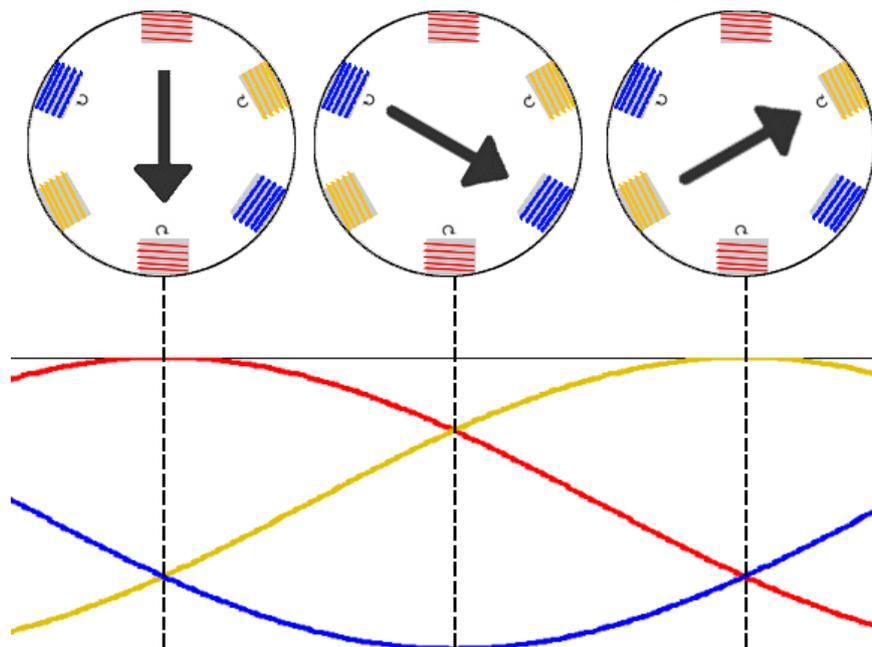


Figura 25: Il campo magnetico rotante generato in un motore asincrono trifase.

Il motore si compone di una parte fissa detta statore e una parte mobile detta rotore. Lo statore è formato da un pacco di lamierini aventi la forma di corona circolare. Le scanalature interne al pacco di lamierini statorici accolgono i conduttori (fatti di filo di rame smaltato) dell'avvolgimento trifase statorico. Il rotore è situato all'interno dello statore ed è

costituito da un pacco di lamierini aventi la forma di corona circolare, con un foro interno per il passaggio dell'albero di rotazione, e scanalature esterne (cave rotoriche) per accogliere l'avvolgimento rotorico. Tra statore e rotore è presente uno spessore d'aria o

dielettrico detto traferro di qualche decimo di millimetro per consentire la libera rotazione del rotore (se ruotando toccasse lo statore, si romperebbe il motore).

Lo statore contiene in genere un numero pari di avvolgimenti in quanto, normalmente, ce ne sono 2 per ciascuna fase di alimentazione. Un motore a tre fasi, o trifase, avrà di solito sei avvolgimenti ovvero tre coppie polari.

I due avvolgimenti di ciascuna coppia polare sono collegati in serie e disposti fisicamente l'uno di fronte all'altro. Le coppie polari presentano invece uno sfasamento di 120° fisici ed elettrici. In conseguenza di ciò, negli avvolgimenti si verifica il passaggio di correnti che a loro volta producono un campo magnetico complessivo che ruota nello spazio. Il rotore è dotato di un certo numero di fasi di solito chiuse in corto circuito.

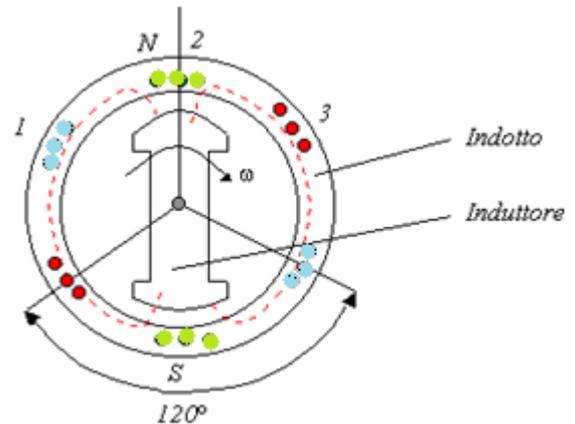


Figura 26: Le tre coppie polari sfasate di 120° tra loro

La rotazione del campo magnetico di statore avviene ad una velocità fissa n_s legata alla frequenza f di alimentazione e viene detta velocità di sincronismo. La velocità di rotazione del rotore n_r sarà sempre minore di quella di sincronismo. Questa differenza fa sì che sul rotore agisca un campo magnetico che ruota ad una velocità $n_s - n_r$, pertanto esso sarà sede di forze elettromotrici e quindi correnti indotte (per questo motivo si parla di motore ad induzione).

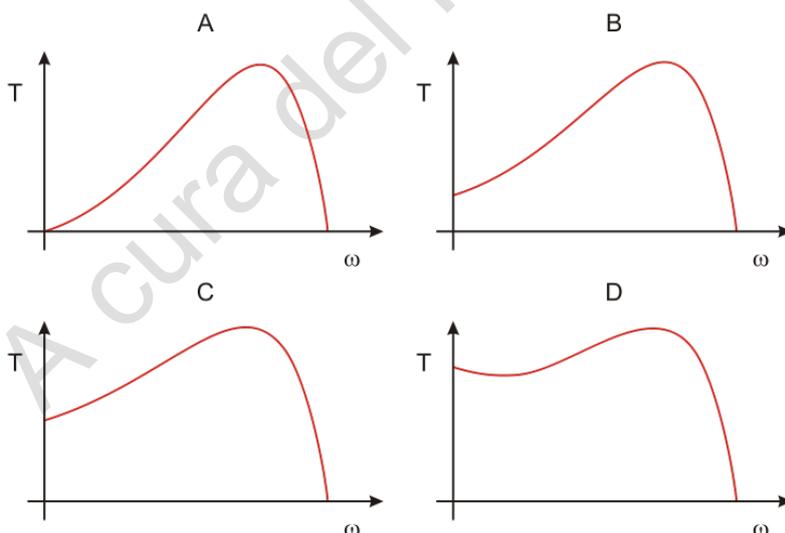


Figura 27: Curva di coppia di 4 differenti motori elettrici asincroni:

- A) Motore monofase
- B) Motore polifase a singola gabbia di scoiattolo
- C) Motore polifase a singola gabbia di scoiattolo a barre profonde
- D) Motore polifase a doppia gabbia di scoiattolo

Evidentemente le correnti di rotore produrranno a loro volta un campo magnetico che ruota a velocità $n_s - n_r$ rispetto al rotore, il quale ruota a velocità n_r rispetto allo statore; il

risultato è che il campo di rotore ruota alla velocità n_s rispetto allo statore ed è dunque sincrono con il campo di statore.

Tale condizione di sincronismo tra le due onde di campo magnetico assicura che il motore produca una coppia costante. La situazione in cui $n_s=n_r$, cioè velocità di rotore uguale a quella di sincronismo, è una condizione limite in cui non vi sono forze elettromotrici (e quindi correnti indotte) e dunque la coppia motrice è zero. Diversamente, la mutua interazione attraverso i relativi campi magnetici tra le correnti di rotore e quelle di statore produce una coppia risultante netta.

Il legame tra velocità di sincronismo, frequenza f di alimentazione ed il numero di coppie polari p è espresso dalla relazione:

$$n_s = 60 \cdot \frac{f}{p}$$
 dove n_s è espressa in rotazioni per minuto (rpm) ed f è espressa in Hertz. Per

esempio, un motore con tre coppie polari (6 poli totali), alimentato a 50 Hz ha una velocità angolare di sincronismo di 1000 giri al minuto (cioè $3000/P$ giri al minuto, dove P , numero di coppie di poli, è 3).

La velocità del rotore in condizioni nominali è sempre minore di un 3-6%; è il fenomeno dello scorrimento (slip) che consente la produzione della coppia. Dalla formula che definisce lo scorrimento è possibile esprimere la velocità di rotazione effettiva del rotore (n_r):

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$
 dove s è lo scorrimento, n_s è la velocità di sincronismo e n_r è la velocità reale

alla quale ruota il rotore.

Il valore effettivo dello scorrimento dipende dal carico effettivo sul rotore. Il carico non è mai nullo perché sono sempre presenti i fenomeni di attrito tra le parti mobili e con l'aria che impediscono al motore di ruotare alla velocità di sincronismo, vincendo questa coppia meccanica.

Gli avvolgimenti statorici sono in genere inglobati in resine che garantiscono un'ottima protezione dall'acqua e dagli agenti atmosferici. Questi motori sono frequentemente alimentati per mezzo di inverter elettronici che possono variarne la velocità variando in modo coordinato la frequenza e la tensione di alimentazione. L'uso di inverter permette di azionare il motore anche a partire da una corrente continua, come avviene nella trazione ferroviaria.

Gli avvolgimenti statorici trifase possono essere collegati a stella oppure a triangolo, permettendo di alimentare lo stesso motore con tensioni trifase di 400 e 230 V. In alcuni grossi motori si preferisce avviare a stella e poi commutare a triangolo, al fine di limitare le correnti di spunto (cioè quelle necessarie per passare dallo stato "fermo" a quello "in movimento"), quando non sono utilizzati gli inverter.

Esistono motori asincroni di potenza usualmente inferiore a 3 kW alimentati anche con tensioni monofase. Tali motori possono essere dotati di ordinari avvolgimenti a due fasi, dove per alimentare la seconda fase si usa il ritardo di tempo introdotto da un condensatore; un tipico esempio è costituito dai motori utilizzati per far girare le pale dei ventilatori o degli asciugacapelli. Per potenze piccolissime si usano i motori in cui la seconda fase è un circuito spazialmente asimmetrico chiuso in corto circuito (chiamati motori a "polo shuntato").

I motori asincroni operano normalmente con gli avvolgimenti di rotore chiusi in corto circuito ma il rotore può essere eseguito in costruzioni differenti.

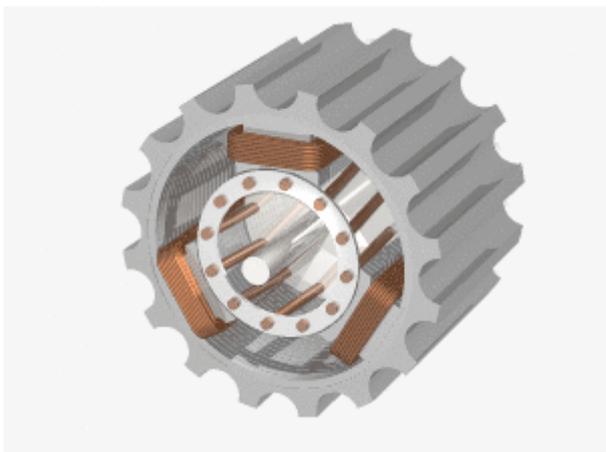


Figura 28: motore asincrono a gabbia di scoiattolo.

5 Produzione di energia elettrica

La maggior parte della produzione di energia elettrica oggi avviene attraverso centrali nucleari, centrali a carbone, termovalorizzatori e inceneritori, centrali idroelettriche. Stanno iniziando ad essere realizzate anche centrali eoliche e geotermiche. Ancora poco diffuse, a causa della scarsa resa a fronte delle spese economiche, sono le centrali fotovoltaiche e quelle che sfruttano i moti ondosi e delle maree.

La maggior parte delle tecniche di produzione di elettricità sono basate sull'uso di vapore in pressione, per cui dell'acqua pressurizzata viene scaldata a temperature molto elevate (talvolta anche oltre 600°) grazie all'utilizzo di una fonte di energia primaria; il vapore surriscaldato espande in una turbina a sua volta collegata ad un alternatore. L'uso di una turbina e/o di un alternatore è comune anche alla produzione elettrica da eolico, idroelettrico, turbogas, geotermica e alle centrali nucleari, mentre solo il fotovoltaico si discosta da questa modalità di produzione.

In generale per ottenere energia elettrica si usano comunemente le seguenti fonti di energia primaria:

- Combustibili fossili (Idrocarburi e carbon fossile)
- Combustibili rinnovabili, come il biogas, la biomassa, gli RSU (Rifiuti Solidi Urbani) o gli scarti di legname
- Nucleare
- Solare
- Eolica
- Idrica (idroelettrica, maree, moto ondoso, a "osmosi")
- Geotermica

5.1 Energia eolica

L'energia eolica è l'energia ottenuta dal vento ovvero il prodotto della conversione dell'energia cinetica, ottenuta dalle correnti d'aria, in altre forme di energia (meccanica o elettrica). Oggi viene per lo più convertita in energia elettrica tramite una centrale eolica, mentre in passato l'energia del vento veniva utilizzata immediatamente sul posto come energia motrice per applicazioni industriali e pre-industriali (come ad esempio nei mulini a vento).



Figura 29: Impianto eolico

Di fatto è stata la prima forma di energia rinnovabile, assieme a quella idraulica, scoperta dall'uomo dopo il fuoco (basti pensare alle vele delle navi) e una tra quelle a sostegno della cosiddetta economia verde nella società moderna. Le applicazioni più tipiche sono i parchi eolici, sebbene possa essere sfruttata anche in installazioni stand-alone su piccola scala. Sotto diversi aspetti l'energia eolica è una fonte di energia molto valida come energia alternativa ai tradizionali combustibili fossili, dal momento che è abbondante, rinnovabile, ampiamente distribuita, pulita e praticamente non produce gas a effetto serra (se non durante la produzione di componenti base, come le pale in alluminio). Il maggior svantaggio è rappresentato dalla sua caratteristica di intermittenza nella produzione, associata alla necessaria presenza della giusta quantità di vento. Tuttavia la sua diffusione in termini di kilowattora prodotti al mondo è comunque in continua crescita.

I parchi eolici sono connessi alle reti elettriche, mentre le installazioni più piccole sono utilizzate invece per fornire elettricità a luoghi isolati. La costruzione di "fattorie eoliche" non riceve però unanime consenso a causa del loro impatto paesaggistico e altre problematiche, come la rumorosità e la pericolosità per i volatili.

5.2 Energia idroelettrica

L'energia idroelettrica è una fonte di energia alternativa e rinnovabile, che sfrutta la trasformazione dell'energia potenziale gravitazionale, posseduta da una certa massa d'acqua ad una certa quota altimetrica, in energia cinetica al superamento di un certo dislivello; tale energia cinetica viene infine trasformata in energia elettrica in una centrale idroelettrica grazie ad un alternatore accoppiato ad una turbina.

Per centrale idroelettrica si intende una serie di opere di ingegneria idraulica posizionate in una certa successione, accoppiate ad una serie di macchinari idonei allo scopo di ottenere la produzione di energia elettrica da masse di acqua in movimento. L'acqua viene convogliata in una o più turbine che ruotano grazie alla spinta dell'acqua. Ogni turbina è accoppiata a un alternatore che trasforma il movimento di rotazione in energia elettrica.



Figura 30: Diga ad arco utilizzata per produrre energia elettrica

Lo sfruttamento dell'energia idroelettrica e la conseguente produzione di energia elettrica non è costante nel tempo, ma dipende dal rifornimento d'acqua del bacino d'acqua artificiale a sua volta dipendente dal regime degli immissari/fiumi e quindi dal regime precipitativo del bacino idrografico.

Una pratica diffusa in alcuni paesi/zone è quella di pompare acqua nei bacini idroelettrici durante la notte quando l'energia da spendere costa meno e

riutilizzare l'energia idroelettrica accumulata di giorno quando la richiesta è maggiore e conseguentemente il prezzo risulta maggiore ottenendo così un guadagno netto.

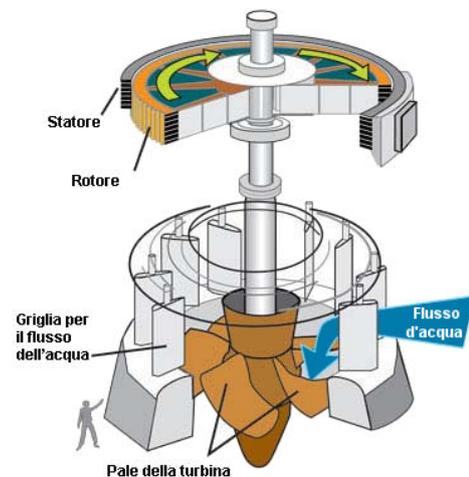


Figura 31: Turbina idroelettrica, tipo Kaplan

5.3 Gruppo turbogas

Il gruppo turbogas, detto anche turboespansore o turbina a gas (in quest'ultimo caso da non confondere con l'omonima macchina), è un motore a combustione interna utilizzato per trasformare mediante turbomacchine l'energia chimica del combustibile. L'energia estratta viene resa disponibile sotto forma di potenza all'albero, aria compressa, spinta o una loro combinazione ed è

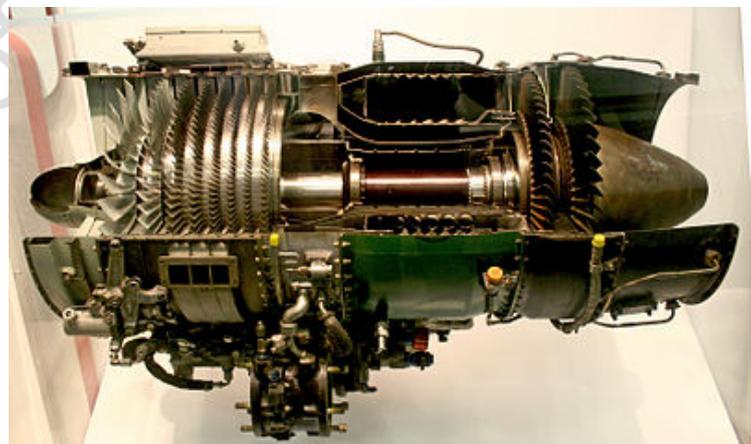


Figura 32: Spaccato di un tipico turbogas aeronautico (General Electric J85). A sinistra si riconoscono gli stadi del compressore, al centro le camere di combustione e l'albero motore mentre a destra i due stadi di turbina.

utilizzata per muovere aerei, treni, navi, generatori o anche carri armati. Come per qualunque macchina termica, un'alta temperatura di combustione produce un alto rendimento, come dimostrato dal ciclo ideale di Carnot, col quale si dimostra che il rendimento è tanto più elevato quanto più è alta la differenza tra temperatura massima e minima del ciclo. Il fattore limitante è la capacità dei materiali che costituiscono la macchina (acciaio, superleghe a base nichel e materiali ceramici) di resistere allo

scorrimento viscoso (creep), tipico delle alte temperature e sollecitazioni meccaniche cui si trovano ad operare. La ricerca si è dunque concentrata verso tecniche volte al raffreddamento dei componenti, le quali consentono alle palette più sollecitate, quelle della turbina, di resistere continuamente a temperature superiori a 1 500 K.

In molte applicazioni si cerca anche di recuperare il calore allo scarico, altrimenti dissipato. I rigeneratori sono scambiatori di calore che trasferiscono il calore dei gas di scarico all'aria compressa, prima della combustione. Nella configurazione del ciclo combinato, la caldaia a recupero trasferisce il calore ad un sistema che alimenta una turbina a vapore. Nel caso della cogenerazione il calore recuperato serve per produrre acqua calda. Gli impianti che sfruttano questo recupero di calore sono definiti impianti combinati, in quanto combinano il ciclo Brayton-Joule del turbogas con quello Rankine della turbina a vapore. In generale, al diminuire della taglia della turbina aumenta la velocità di rotazione dell'albero (o degli alberi), in quanto la velocità periferica delle pale è un limite progettuale. I motori aeronautici operano intorno ai 10.000 giri/min (sezione di alta pressione) e le microturbine intorno ai 100 000 giri/min.

5.4 Energia geotermica

L'energia geotermica è l'energia generata per mezzo di fonti geologiche di calore e può essere considerata una forma di energia alternativa e rinnovabile, se valutata in tempi brevi. Si basa sui principi della geotermia ovvero sullo sfruttamento del calore naturale della Terra (gradiente geotermico) dovuto all'energia termica rilasciata in processi di decadimento nucleare naturale di elementi radioattivi quali l'uranio, il torio e il potassio, contenuti naturalmente all'interno della terra (nucleo, mantello e crosta terrestre).

La prima utilizzazione dell'energia geotermica per la produzione di energia elettrica avvenne il 4 luglio 1904 in Italia per merito del principe Piero Ginori Conti che sperimentò il primo generatore geotermico a Larderello in Toscana preludio delle vere e proprie centrali geotermiche. Possibile e sfruttata anche la cogenerazione.

L'energia geotermica costituisce oggi meno dell'1% della produzione mondiale di energia. Tuttavia, uno studio condotto dal Massachusetts Institute of Technology afferma che la potenziale energia geotermica contenuta sul nostro pianeta si aggira attorno ai 12.600.000 ZJ e che con le attuali tecnologie sarebbe possibile utilizzarne "solo" 2000 ZJ. Tuttavia, poiché il consumo mondiale di energia ammonta a un totale di 0,5 ZJ all'anno, con il solo

geotermico, secondo lo studio del MIT, si potrebbe soddisfare il fabbisogno energetico planetario con sola energia pulita per i prossimi 4000 anni rendendo quindi inutile qualsiasi altra fonte non rinnovabile attualmente utilizzata.

L'energia geotermica è una forma di energia sfruttabile che deriva dal calore presente negli strati più profondi della crosta terrestre. Infatti penetrando in profondità nella superficie terrestre, la temperatura diventa gradualmente più elevata, aumentando mediamente di circa 30 °C per km nella crosta terrestre (30 °C/km e 80 °C/100 km rispettivamente nel mantello e nel nucleo, si tratta di valori medi, in alcune zone infatti, si possono trovare gradienti decine di volte inferiori o maggiori). I giacimenti di questa energia sono però dispersi e a profondità così elevate da impedirne lo sfruttamento. Per estrarre e usare il calore imprigionato nella Terra, è necessario individuare le zone con anomalia termica positiva dove il calore terrestre è concentrato: il serbatoio o giacimento geotermico. Per ottenere un ottimale riscaldamento di case o serre viene messa in atto l'azione di fluidi a bassa temperatura; invece, per ottenere energia elettrica si fa uso di fluidi ad alte temperature.

Esistono diversi sistemi geotermici, ma attualmente vengono sfruttati a livello industriale solo i sistemi idrotermali, costituiti da formazioni rocciose permeabili in cui l'acqua piovana e dei fiumi si infiltra e viene scaldata da strati di rocce ad alta temperatura. Le temperature raggiunte variano dai 50-60 °C fino ad alcune centinaia di gradi. L'uso di quest'energia comporta vantaggi come l'inesauribilità a tempi brevi, se sfruttata in modo razionale, ed il minor inquinamento dell'ambiente circostante; un certo inquinamento non viene escluso per la possibile immissione nell'area di elementi tossici, come zolfo, mercurio e arsenico presenti nei fluidi geotermali, per questo motivo le aree geotermiche sono sottoposte a verifiche ambientali annuali.

Rivolto solamente ad una produzione di energia termica, è il sistema geotermico a bassa entalpia che sfruttando il naturale calore del terreno con l'ausilio di una pompa di calore riesce a produrre energia termica per l'acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli edifici.

In alcune particolari zone si possono presentare condizioni in cui la temperatura del sottosuolo è più alta della media, un fenomeno causato dai fenomeni vulcanici o tettonici. In queste zone "calde" l'energia può essere facilmente recuperata mediante la geotermia.

La geotermia consiste nel convogliare i vapori provenienti dalle sorgenti d'acqua del sottosuolo verso apposite turbine adibite alla produzione di energia elettrica e riutilizzando il vapore acqueo per il riscaldamento urbano, le coltivazioni in serra e il termalismo.

Per alimentare la produzione del vapore acqueo si ricorre spesso all'immissione di acqua fredda in profondità, una tecnica utile per mantenere costante il flusso del vapore. In questo modo si riesce a far lavorare a pieno regime le turbine e produrre calore con continuità.

La geotermia resta comunque una fonte energetica marginale da utilizzare solo in limitati contesti territoriali. Resta in ogni caso una potenzialità energetica da sfruttare laddove possibile, anche sfruttando le potenzialità del riscaldamento geotermico.

In tal senso molto promettenti sembrano essere gli sviluppi relativi all'energia geomagnetica, che presenta una distribuzione territoriale molto estesa a motivo dell'assenza di utilizzo di acqua ma solo calore.

La radioattività naturale della terra è la causa dell'energia geotermica. Si valuta che il flusso totale di calore verso la superficie della terra sia di 16 TW, quindi poiché la terra ha un raggio medio di 6371 km, la potenza media prodotta per via geotermica è di 32 mW/m². Per confronto l'irraggiamento solare medio è, alle latitudini europee, di circa 200 W/m². La potenza è sensibilmente maggior vicino ai limiti delle fratture tettoniche dove la crosta è meno spessa. Inoltre la circolazione di acqua in profondità può aumentare ulteriormente la potenza termica per unità di superficie.

Le sorgenti geotermiche si possono dividere in tre tipologie:

- **sorgenti idrotermiche:** la sorgente si trova a profondità non eccessive (1000-2000 m) e a seconda della pressione può essere classificata come sorgente geotermica a vapore o ad acqua dominante
- **sorgenti geopressurizzate:** la sorgente si trova a profondità maggiori (3000-10000 m) e l'acqua ivi contenuta è a pressioni elevate (1000 atm) e ad una temperatura di 160 °C
- **sorgenti petrotermiche:** la sorgente si trova a profondità maggiori rispetto alle precedenti ed è composta da rocce calde (senza acqua). Circa il 85% delle risorse geotermiche sono di questo tipo ma sono anche di difficile sfruttamento proprio per l'assenza dell'acqua.

5.5 Centrale elettronucleare

Con centrale elettronucleare (comunemente centrale nucleare o centrale atomica, egualmente centrale termonucleare o raramente centrale nucleotermoelettrica), si intende generalmente una centrale elettrica che, attraverso l'uso di uno o più reattori nucleari, sfrutta il calore prodotto da una reazione di fissione nucleare a catena autoalimentata e controllata per generare vapore a temperatura e pressione elevate col fine di alimentare turbine connesse ad alternatori e producendo quindi elettricità.



Figura 33: Centrale nucleare di Cofrentes (Spagna), vista delle torri di raffreddamento della parte termoelettrica

Il termine potrà essere esteso anche alle eventuali future centrali a fusione nucleare, che potrebbero impiegare un reattore a fusione nucleare; tuttavia la ricerca in questo campo è ancora in una fase sperimentale-prototipale di impianto (vedi l'apparecchiatura ITER) e la fusione nucleare controllata è stata ottenuta in laboratorio solamente per brevi periodi di tempo e con una bassa resa energetica.

In una centrale nucleare a fissione refrigerata ad acqua leggera, come ogni centrale elettrica basata su un ciclo al vapore, avviene una reazione che libera calore utilizzato per la vaporizzazione dell'acqua e quindi la generazione di lavoro meccanico.

Il principio fisico alla base della generazione del calore in una centrale nucleare a

fissione è la

fissione nucleare,

ovvero la scissione del nucleo di atomi pesanti quali uranio e plutonio.

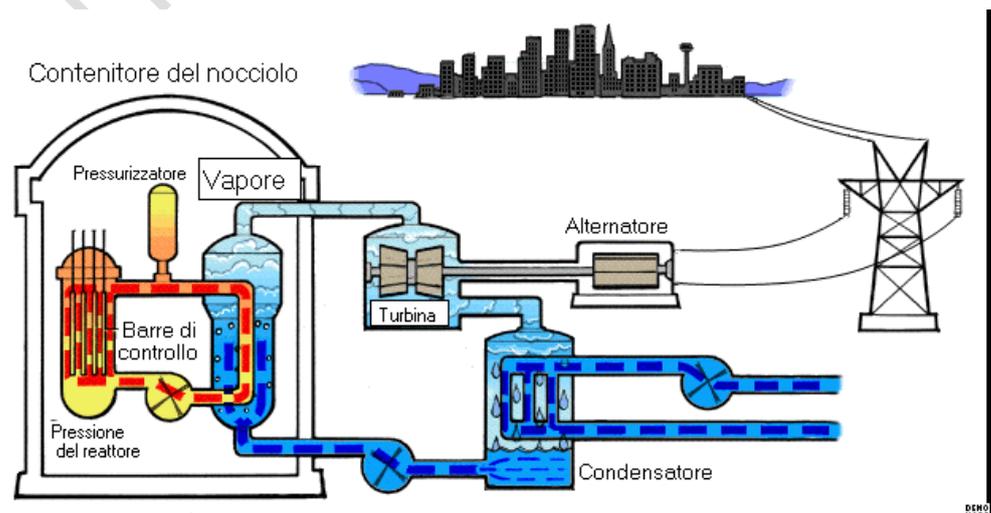


Figura 34: principio di funzionamento di una centrale nucleare

5.6 Energia marina

« Pensate al movimento delle onde, al flusso e riflusso, all'andirivieni delle maree. Che cos'è l'oceano? una enorme forza perduta. Come è stupida la terra, a non valersi dell'oceano! »

([Victor Hugo](#) - *Novantatré*, (1874), VII, 5)

Con energia marina, energia oceanica o energia pelagica si intende l'energia racchiusa in varie forme nei mari e negli oceani.

L'energia presente nei mari e negli oceani può essere estratta con diverse tecnologie: fluidodinamiche (correnti, onde, maree) e di gradiente (termico e salino). Ad oggi sono stati sperimentati molti sistemi di estrazione di questa energia ed alcuni sono già in uno stadio precommerciale:

- energia delle correnti marine
- energia a gradiente salino (osmotica)
- energia mareomotrice (o delle maree)
- energia del moto ondoso
- energia talassotermica (OTEC)

Diversi ricercatori indicano come l'energia oceanica possa provvedere ad una parte sostanziale della energia rinnovabile a livello globale.

5.7 Energia solare

L'energia solare è l'energia associata alla radiazione solare e rappresenta la fonte primaria di energia sulla Terra che rende possibile la vita.

L'energia solare, infatti, è quella normalmente utilizzata dagli organismi autotrofi, cioè quelli che eseguono la fotosintesi, comunemente indicati come "vegetali" (da cui si originano anche i combustibili fossili); gli altri organismi viventi sfruttano invece l'energia chimica ricavata dai vegetali o da altri organismi che a loro volta si nutrono di vegetali e quindi in ultima analisi sfruttano anch'essi l'energia



Figura 35: Insolazione Italia

solare, seppur indirettamente.

Da questa energia derivano più o meno direttamente quasi tutte le altre fonti energetiche disponibili all'uomo quali i combustibili fossili, l'energia eolica, l'energia del moto ondoso, l'energia idroelettrica, l'energia da biomassa con le sole eccezioni dell'energia nucleare, dell'energia geotermica e dell'energia delle maree. Può essere utilizzata direttamente a scopi energetici per produrre calore o energia elettrica con varie tipologie di impianto.

Sulla Terra il valore di tale energia (a livello locale o globale, giornaliera, mensile o annuale) si può calcolare come il prodotto tra l'insolazione media, l'eliofania nell'intervallo di tempo considerato e la superficie incidente considerata.

L'energia solare può essere utilizzata per generare elettricità (fotovoltaico) o per generare calore (solare termico). Sono tre le tecnologie principali per trasformare in energia sfruttabile l'energia del sole:

- il pannello solare termico sfrutta i raggi solari per scaldare un liquido con speciali caratteristiche, contenuto nel suo interno, che cede calore, tramite uno scambiatore di calore, all'acqua contenuta in un serbatoio di accumulo.
- il pannello fotovoltaico sfrutta le proprietà di particolari elementi semiconduttori per produrre energia elettrica quando sollecitati dalla luce.
- il pannello solare a concentrazione sfrutta una serie di specchi parabolici a struttura lineare per convogliare i raggi solari su un tubo ricevitore in cui scorre un fluido termovettore o una serie di specchi piani che concentrano i raggi all'estremità di una torre in cui è posta una caldaia riempita di sali che per il calore fondono. In entrambi i casi "l'apparato ricevente" si riscalda a temperature molto elevate (400 °C ~ 600 °C) (solare termodinamico)

6 Misure elettriche

Le misure elettriche si riferiscono alla misurazione di grandezze elettriche. Tradizionalmente si distinguono le misure elettriche in relazione alla tipologia:

- misure su componenti
- misure su circuiti
- misure su impianti

La distinzione nasce più dai metodi utilizzati che dagli strumenti, solitamente i metodi di misura tipici dei componenti sono applicati anche ad oggetti che non sono di per sé componenti elettrici ma di cui si vuole dare una caratterizzazione elettrica. La distinzione ha comunque carattere teorico: l'effettuazione fisica della misura viene fatta seguendo gli stessi principi, indipendentemente dal fatto che riguardi un componente o un impianto.

Le misure elettriche più diffuse riguardano quelle di differenza di potenziale, corrente elettrica, resistenza elettrica, frequenza.

L'evoluzione della tecnologia e la diffusione dei componenti elettronici a stato solido ha portato profondi cambiamenti nelle misure elettriche e gli strumenti di misura elettromeccanici sono affiancati e spesso sostituiti da strumenti di misura elettronici.

6.1 Misura della resistenza di terra

La resistenza di terra è la resistenza opposta da un terreno alla dispersione della corrente elettrica generata da una differenza di potenziale applicata tra due punti tramite elettrodi (dispersori). Questa caratteristica del terreno è misurabile con una misura voltamperometrica in funzione della distanza tra i due punti. In presenza di fenomeni di disturbo come ad esempio reti di tubazioni metalliche nei centri urbani, si esegue la verifica con uno strumento denominato loop tester.

La misura può essere eseguita con strumenti portatili a 3 o 4 morsetti dotati di generatore interno. Si collegano al generatore di corrente i morsetti del dispersore in prova e di un dispersore ausiliario ad una distanza almeno 5 volte di quella su cui si effettuerà la misurazione voltmetrica (metodo dei 3 punti).

Se è disponibile nelle vicinanze del dispersore in prova un dispersore ausiliario a resistenza trascurabile (rete idrica metallica interrata estesa) si misura direttamente la tensione tra i due punti dopo averli collegati al generatore di corrente (metodo dei 2 punti).

La misura della resistenza di terra (resistività del terreno) è preliminare alla stesura di qualunque progetto di sicurezza di un impianto elettrico/elettronico (messa a terra) o di apparecchiature di protezione dalle scariche atmosferiche (parafulmine). Ad impianto ultimato, nelle condizioni normali di esercizio, la misura della resistenza di terra in fase di collaudo non si deve discostare da quella di progetto.

Ad impianto funzionante sarà necessario

eseguire periodicamente (ogni 2-4 anni) delle misure di controllo per verificare il mantenimento nel tempo delle caratteristiche dell'impianto. Ciò è molto importante, per esempio, dopo la caduta di un fulmine per verificare che non ci siano stati danni all'impianto quali interruzioni di continuità elettrica nei discendenti o perdita di capacità di dispersione nel sistema di messa a terra.

Se a due elettrodi (dispersori) conficcati nel terreno viene applicata una d.d.p. (differenza di potenziale) il terreno svolge la funzione di conduttore elettrico. Ogni porzione elementare del terreno offre una resistenza tanto più piccola quanto più è lontana dal dispersore (per la verifica si è usato un dispersore emisferico di raggio " r_0 " perché ad una certa distanza, qualunque sia la forma del dispersore, le linee equipotenziali diventano emisferiche). Si dice resistenza di terra R_t la somma delle resistenze elettriche elementari di queste porzioni di terreno. Ad una certa distanza dal dispersore la sezione diventa così grande che la resistenza è pressoché nulla mentre nelle immediate vicinanze le sezioni attraverso le quali fluisce la corrente si rimpiccioliscono e la resistenza aumenta. Per quanto detto sopra si definisce equivalente emisferico di un dispersore qualsiasi il dispersore di forma emisferica avente la stessa resistenza.

Dunque oltre al corpo umano si può associare al terreno una resistenza.

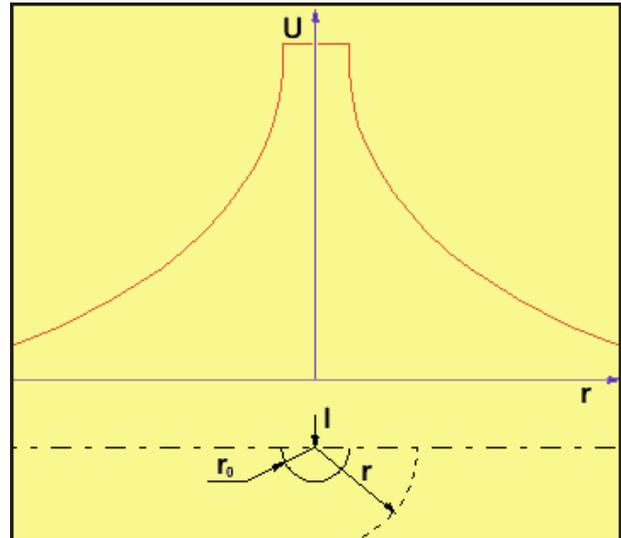


Figura 36: Andamento del potenziale attorno a un dispersore di terra

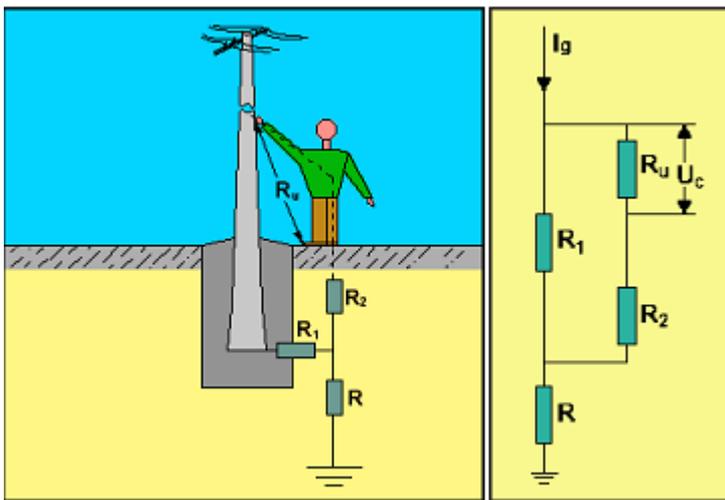
6.2 Tensione di contatto U_c

Diamo la definizione:

La tensione di contatto è la differenza di potenziale alla quale può essere soggetto il corpo umano in contatto con parti simultaneamente accessibili, escluse le parti attive, durante il cedimento dell'isolamento.

Con il termine "parti simultaneamente accessibili" si intendono le parti esterne dell'apparecchiatura elettrica che l'utente può toccare. Con il termine "parti attive" si intende parti dell'apparecchiatura elettrica che durante il funzionamento ordinario sono in tensione. Tra la parte attiva e le parti simultaneamente accessibili dell'apparecchio elettrico è interposto l'isolamento, che ha il compito di separare elettricamente le due parti.

Si rappresenta il circuito equivalente rappresentativo della condizione di guasto.



R_u : resistenza del corpo umano nel percorso mano-piede (dalla mano destra al piede sinistro);

R_2 : resistenza rappresentativa della resistenza di contatto tra la persona e la terra;

R_1 : resistenza che si ha tra il collegamento tra l'apparecchiatura elettrica e la terra;

R : resistenza rappresentativa della

terra;

I_g : rappresenta la corrente di guasto.

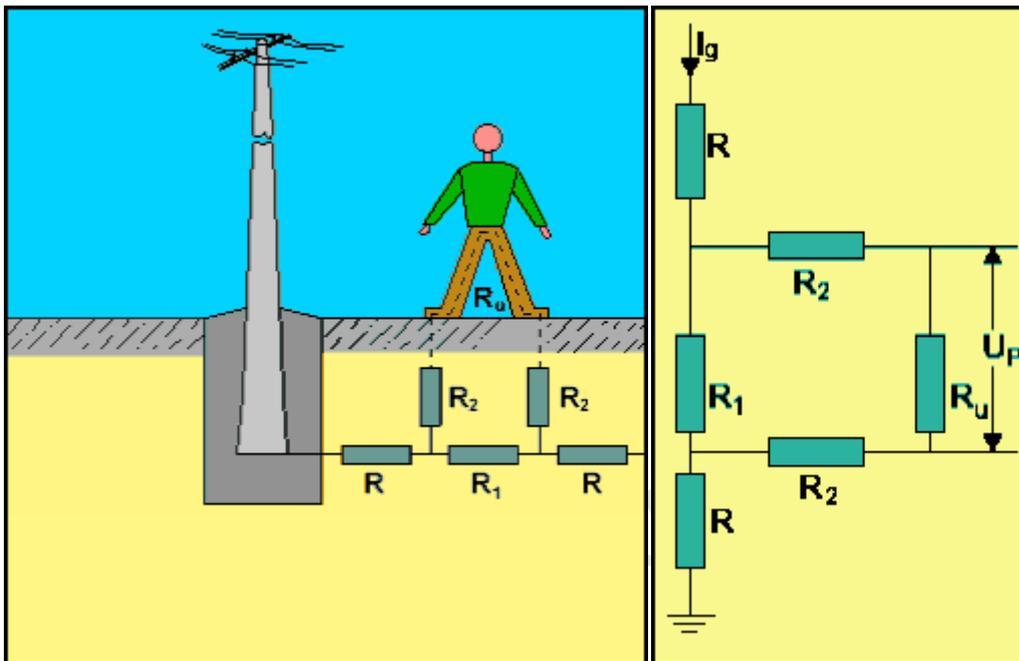
Il circuito equivalente consente di risalire con facilità alla tensione U_c . Ricordando che la corrente che attraversa il corpo umano è una piccola frazione della corrente di guasto I_g con sufficiente approssimazione si ottiene:

$$U_c = \frac{R_u}{R_u + R_2} \cdot R_1 \cdot I_g$$

6.3 Tensione di passo U_p

Diamo la definizione:

La tensione di passo è la differenza di potenziale che può risultare applicata tra i piedi di una persona alla distanza di un passo (convenzionalmente un metro) durante il cedimento dell'isolamento.



R_u : resistenza del corpo umano nel percorso piede-piede (dalla mano destra al piede sinistro);

R_2 : resistenza rappresentativa della resistenza di contatto tra la persona e la terra;

R_1 : resistenza del terreno tra i due piedi della persona;

R : resistenza rappresentativa della terra;

I_g : rappresenta la corrente di guasto.

Con riferimento allo schema equivalente si può calcolare la U_p con la formula:

$$U_c = \frac{R_u}{R_u + R_1 + R_2} \cdot R_1 \cdot I_g$$

Dagli schemi equivalenti si può rilevare l'importanza che può assumere il valore delle resistenze R_2 (legate alla resistenza dello strato superficiale del terreno) che potrebbe essere, per ottenere un resistività più alta, realizzato con materiali appositi (ghiaia, bitume, ardesia, ecc..).

In generale la tensione di passo U_p è molto minore della tensione di contatto U_c .

7 Sicurezza

La sicurezza elettrica è quella scienza applicata che serve a realizzare impianti elettrici sicuri.

L'elettricità come tutti sanno è pericolosa, ma adottando tutte le precauzioni e dispositivi che le norme e le leggi ci impongono (suggeriscono per le norme volontarie) diventa "sicura" (ricordiamo che la sicurezza assoluta non esiste).

Le cause di rischio previste dalle norme sono:

- contatti diretti;
- contatti indiretti;
- correnti di sovraccarico;
- correnti di cortocircuito;
- sovratensioni di varia origine e natura.

A questi rischi le norme prevedono le seguenti precauzioni.

7.1 Contatti diretti

Per i contatti diretti esiste la protezione meccanica, che ogni involucro deve avere. Si deve rispettare la normativa del codice IP (International Protection) composto da due cifre che ne indicano il grado di protezione meccanica e la protezione contro l'accesso di liquidi. Per i contatti diretti esistono anche protezioni attive, ossia dispositivi elettronici che consentono l'erogazione di corrente elettrica solo in presenza di un carico elettrico, e la bloccano quando invece il carico ha una resistenza superiore a quella impostata (ad esempio quando tra i due poli c'è la mano di un uomo o anche acqua).

7.2 Contatti indiretti

Per i contatti indiretti si usa un apparecchio chiamato interruttore differenziale che controlla la differenza tra correnti entranti ed uscenti di un circuito; se esse sono uguali non esiste dispersione, diversamente il circuito è guasto e il dispositivo di sgancio interviene aprendo il circuito mettendolo in sicurezza. Questo dispositivo, erroneamente, è conosciuto anche come salvavita, che è invece un marchio registrato.

7.3 Correnti di sovraccarico

Per le correnti di sovraccarico si utilizzano fusibili o interruttori magnetotermici (per la parte termica), entrambi contraddistinti da una corrente nominale (detta anche in gergo taglia). Sono apparecchi elettrici che hanno la capacità di rilevare correnti troppo elevate (sovracorrenti) che passano nel circuito ed in tal caso interrompono (aprono) il circuito.

7.4 Correnti di corto circuito

Per le correnti di corto circuito si usano come protezione i fusibili, gli interruttori magnetici o magnetotermici (per la parte magnetica). Si ha cortocircuito quando vengono a contatto due o più conduttori attivi (fasi, neutro, poli positivi, poli negativi), innescando, nella linea elettrica interessata, una corrente elevatissima data dall'assenza di resistenza. Anche in questo caso il dispositivo di sicurezza interviene aprendo il circuito. La differenza tra il sovraccarico e il cortocircuito è che il primo non è un guasto, ma viene richiesta più corrente rispetto a quella di progetto alla linea, mentre il secondo è un guasto perché c'è un cedimento dell'isolamento. Altra differenza è che nel cortocircuito il tempo di intervento deve essere brevissimo, mentre per le sovracorrenti è proporzionale all'entità del sovraccarico.

7.5 Sovratensioni

Per le sovratensioni si intendono quelle di origine atmosferica (fulmini) e di rete (guasti), che possono comportare danni agli utilizzatori, alle persone ed indirettamente incendi. Valutata la necessità di protezione verso le sovratensioni si installano due tipologie di sistemi:

- Dps (dispositivo di protezione contro le sovratensioni)
- Spf (Sistema di protezione contro i fulmini).

I sistemi possono essere essenzialmente due o la loro combinazione:

- gabbia di Faraday;
- scaricatori.

La gabbia realizza un vero e proprio guscio (maglia) metallico di protezione deviando il fulmine verso l'impianto di terra. Lo scaricatore lavora essenzialmente su due principi, quello della equipotenzialità elettrica e quella del dielettrico a perforazione.

7.6 Manutenzione

Spesso si pensa che gli impianti debbano essere sicuri per sempre, non a caso nella catena delle responsabilità c'è anche l'utente finale, infatti spesso si trascura la manutenzione che serve proprio a mantenere efficienti e sicuri gli impianti. La manutenzione va affrontata periodicamente, ma troppo spesso ci si dimentica di chiamare l'elettricista almeno una volta l'anno per controllare l'impianto elettrico.

7.7 Normative elettriche (alla data di maggio 2013)

Con la definizione normativa elettrica si intende l'insieme di leggi, norme di attuazione e norme di riferimento tecnico che disciplinano il settore dell'impiantistica elettrica.

Esistono una serie di decreti e leggi che disciplinano il rapporto fra leggi e normative:

- Decreto del Presidente della Repubblica 27 aprile 1955 n 547 (si inizia a varare delle norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro), il presente Decreto è stato abrogato dal DL 09/04/2008 n. 81;
- Decreto ministeriale 3/04/1957 (sancisce all'Ispettorato del Lavoro il controllo e la verifica degli impianti elettrici), abrogato dall'art.19 del DM 19/09/1959. Il presente decreto ministeriale è stato modificato dal decreto ministeriale 22 febbraio 1965. I verbali di verifica sono stati modificati dal decreto ministeriale 13 luglio 1965 e successivamente dal decreto ministeriale 15 ottobre 1993. Gli art. 2, 3 e 4 sono abrogati dall'art. 9 del decreto del presidente della repubblica 22 ottobre 2001, n. 462;
- Decreto ministeriale 12/09/1959 (disciplina meglio la parte relativa alle verifiche e ai collaudi degli impianti elettrici e dei dispositivi di protezione dalle scariche atmosferiche, introduce i famosi modelli A, B e C);
- Legge 1 marzo 1968 n 186 (famosa legge di due articoli in cui si segnala l'obbligo di costruire gli impianti elettrici a "regola d'arte" e che le norme CEI si considerano a regola d'arte, da osservare che è una legge con valenza legale superiore ai decreti);
- Legge 46 del 5 marzo 1990 Attualmente la legge 46/90 è stata abrogata insieme al Dpr 447 ed è sostituita dal DM 37 del 22 gennaio 2008, come sotto specificato;

- Decreto del Presidente della Repubblica 22 ottobre 2001 n 462 (che autorizza al controllo degli impianti elettrici, dei dispositivi di protezione dalle scariche atmosferiche da enti abilitati oltre che alle ASL o ARPA);
- Decreto ministeriale n. 37 del 22/01/2008 che abroga e sostituisce la Legge 46/90 lasciando in vigore solo 3 articoli (8, 14, 16);
- Decreto legislativo n. 81 del 09/04/2008, testo unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

7.8 Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI)

Il CEI è un' **Associazione senza scopo di lucro** responsabile della **normazione in campo elettrotecnico, elettronico e delle telecomunicazioni** in ambito nazionale, con la partecipazione diretta - su mandato dello Stato Italiano - nelle organizzazioni di normazione europea (CENELEC) e mondiale (IEC). Fondato nel 1909 e riconosciuto dallo Stato Italiano e dall'Unione Europea, il CEI propone, elabora e divulga Norme che costituiscono il riferimento per la presunzione di conformità alla "regola dell'arte" di prodotti, processi e impianti elettrici. Le Norme CEI sono documenti che definiscono le norme di buona tecnica per prodotti, processi e impianti, costituendo il riferimento per la presunzione di conformità alla "regola dell'arte".

Le norme tecniche europee e pubblicate dal CEI costituiscono uno strumento univoco e ben codificato per soddisfare le prescrizioni di natura obbligatoria previste dalla legislazione italiana.

La Legge italiana n. 186 del 1° marzo 1968 stabilisce che *"Tutti i materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici devono essere realizzati e costruiti a regola d'arte"* e che gli stessi *"realizzati secondo le norme del Comitato Elettrotecnico Italiano si considerano costruiti a regola d'arte"*.

Il processo di normazione si basa sul principio della partecipazione e della collaborazione di tutte le parti coinvolte. Un progetto di norma nasce per rispondere a specifiche esigenze espresse dal mercato di disporre di riferimenti condivisi a livello nazionale (o internazionale). Il progetto di norma si sviluppa nell'ambito dei Comitati Tecnici di riferimento in cui lavorano oltre 3.000 Esperti, designati dai Soci di Diritto, Promotori ed Effettivi e provenienti da Ministeri, Enti pubblici e privati, Università, laboratori di ricerca, industria, associazioni di categoria.

8 Appendice 1: l'interruttore differenziale

Come suggerisce il nome stesso, **l'interruttore automatico differenziale** è:

- un **interruttore** (che apre o chiude un circuito)
- tale interruttore agisce in modo **“automatico”** (cioè non deve essere azionato da nessuno, ma lo fa da sé)
- decide se azionarsi (e quando) valutando la **differenza** tra la corrente che entra nell'impianto (attraverso il conduttore o i conduttori di fase) e quella che esce dall'impianto stesso (attraverso il conduttore o i conduttori di neutro); se questa differenza superasse il valore di soglia, allora l'interruttore automatico scatta da solo.

L'interruttore automatico differenziale si usa per proteggere le persone (più che l'impianto) **dai pericoli portati da dispersioni di corrente.**

In un interruttore differenziale è presente un circuito magnetico (in pratica un trasformatore di corrente) su cui sono avvolti dei solenoidi

(uno per cavo da proteggere) in modo tale che (in condizioni di equilibrio, cioè di funzionamento corretto) il flusso magnetico prodotto si annulli reciprocamente. Infatti: se tutto funziona correttamente, dalla fase (dalle fasi) entra una certa quantità di corrente

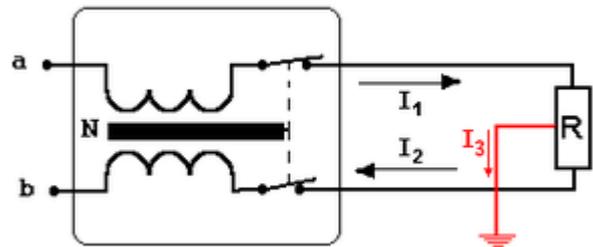


Figura 37: Schema di principio del differenziale. In rosso è indicata una dispersione

nell'impianto. Questa corrente produce nei solenoidi un certo campo magnetico. I solenoidi, però, risentono anche del campo magnetico prodotto dalla corrente che esce dal conduttore di neutro (dai conduttori di neutro). Se tutto funziona come si deve, questa corrente è pari a quella che è entrata, ma (uscendo) ha verso opposto e quindi produrrà un campo magnetico di verso opposto al primo. Ecco perché i due campi si annullano a vicenda.

Se si verificasse una dispersione di corrente in qualche punto dell'impianto, allora non tutta la corrente che è entrata dal cavo di fase, uscirà da quello di neutro (parte esce dalla dispersione infatti). In queste condizioni, allora, i campi magnetici prodotti dai due flussi di corrente, non saranno più uguali (quello prodotto dalla corrente più grande, quella in entrata, “vincerà” sull'altro). Questo squilibrio farà sì che un'elettrocalamita attiri a sé una piccola “ancora” che sgancia automaticamente l'impianto dall'alimentazione, aprendo il

circuito. Questo fatto è reso possibile poiché nelle centrali di distribuzione della rete elettrica e nelle cabine di trasformazione mt/bt (media tensione/bassa tensione) il cavo di neutro è collegato a terra e quindi qualunque collegamento tra una fase della linea elettrica e terra subisce un passaggio di corrente. Questa corrente si disperde a terra e non ritorna attraverso l'interruttore differenziale a monte dell'impianto, il quale rivela che la somma delle correnti di nodo non è più nulla ed interviene aprendo il circuito elettrico.

In alcuni modelli i contatti sono tenuti normalmente chiusi da un elettromagnete alimentato da un circuito elettronico. Quando viene rilevato uno sbilanciamento della corrente misurata da un altro solenoide, il circuito toglie alimentazione all'elettromagnete e provoca l'apertura dei contatti.

Per evitare che sia un corpo umano a realizzare il ponte fase-terra e agevolare il lavoro dell'interruttore differenziale è necessario che gli apparecchi con carcassa metallica siano collegati ad un adeguato impianto di messa a terra. Si parla, in questo caso, di protezione contro i contatti indiretti.

Invece, nel caso in cui una persona tocchi una parte che è normalmente in tensione, come ad esempio un conduttore elettrico non isolato, si parla di contatto diretto. Anche in questo caso l'interruttore differenziale fornisce, nella maggior parte dei casi, una buona protezione, purché sia del tipo ad alta sensibilità, cioè con corrente differenziale nominale minore o uguale a 30 mA, ed abbia un tempo di intervento sufficientemente breve (pochi millisecondi). Da notare che la presenza dell'interruttore differenziale non esime assolutamente dall'obbligo di predisporre un impianto di terra realizzato a regola d'arte.

Per verificare la continuità di funzionamento è prescritta l'effettuazione di un test con cadenza mensile, premendo un apposito pulsante presente sull'apparecchio.

Ecco com'è fatto al suo interno un interruttore differenziale (fig. 31).

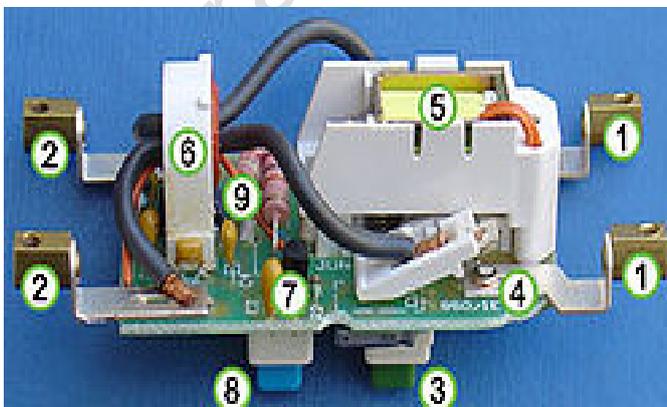


Figura 38: Parti di un interruttore differenziale (aperto)

- 1 Morsetti di ingresso
- 2 Morsetti di uscita (verso il carico)
- 3 Pulsante di inserimento
- 4 Contatti di interruzione
- 5 Solenoide che tiene chiusi i contatti
- 6 Trasformatore di corrente (sensore)
- 7 Circuito elettronico amplificatore
- 8 Pulsante di test
- 9 Cavo (arancio) che alla pressione di

test è attraversato da una corrente sbilanciata

Poiché un impianto reale presenta inevitabilmente piccoli squilibri dovuti a dispersioni ed anche perché esistono dei limiti minimi di sensibilità praticamente realizzabili, ma nello stesso tempo per assicurare un adeguato livello di protezione in caso di folgorazione, sono definite precise **soglie di intervento**. Per gli impianti in **abitazioni civili** la differenza massima ammissibile di corrente, indicata con la lettera greca Δ (**delta**), deve essere **minore o uguale a 30 milliampere**. Il **tempo impiegato** dall'interruttore differenziale a ravvisare lo sbilanciamento e **ad intervenire** (staccando l'impianto), definisce la **classe di intervento** dell'interruttore stesso.

In ambiti industriali e commerciali si usano differenziali con Δ minore o uguale a 300 milliampere, ma che hanno tempi d'intervento minori rispetto al corrispettivo civile.

In caso di impianti elettrici con più derivazioni in parallelo si possono installare più differenziali a protezione di ciascun ramo derivato, in modo da realizzare una **protezione selettiva**, tale cioè da isolare solo il ramo interessato al guasto, senza togliere l'alimentazione gli altri rami. Se, in aggiunta alle protezioni dei singoli rami, si installa anche una protezione differenziale generale comune a tutti i rami, si ricorre solitamente ad un differenziale **di tipo ritardato**, per evitare che questo, intervenendo prima di quelli posti a valle, possa scollegare anche i circuiti non guasti.

9 Appendice 2: l'interruttore magnetotermico

Come suggerito dal nome stesso, un **interruttore automatico magnetotermico** è:

- un **interruttore** (che apre o chiude un circuito)
- tale interruttore agisce in modo “**automatico**” (cioè non deve essere azionato da nessuno, ma lo fa da sé)
- le **motivazioni** e le **condizioni** per cui avviene il suo intervento automatico sono di natura:
 - **magnetica** (che rileva i cortocircuiti)
 - **termica** (che rileva i sovraccarichi)

L'interruttore automatico magnetotermico si usa per proteggere l'impianto (più che le persone) **dai pericoli portati da sovraccarichi e cortocircuiti.**

I due fenomeni considerati, cortocircuito e sovraccarico, hanno caratteristiche ben diverse e devono essere considerati separatamente. Inizialmente l'interruttore deve essere chiuso agendo sul comando manuale oppure, nei modelli più grandi, per mezzo di motori elettrici. In questo modo viene caricata una molla che tende a provocare l'apertura dei contatti, ma è trattenuta da una piccola ancora. Quando una sezione del dispositivo rileva un guasto, la molla viene liberata e si ha lo scatto, cioè l'apertura dell'interruttore. La forza prodotta dalla molla deve essere tanto più elevata quanto maggiore è **l'intensità della corrente da interrompere**, ovvero il **potere di interruzione** del dispositivo.

La parte magnetica dell'interruttore automatico magnetotermico interviene in caso di cortocircuito e funziona in modo del tutto simile a quanto visto per l'interruttore differenziale. Questa volta, però, non si misura la differenza tra corrente in entrata e corrente in uscita, ma semplicemente quanto è veloce l'aumento del campo magnetico prodotto dalla corrente in entrata. Se si verificasse un cortocircuito (cioè il contatto tra conduttore di fase e conduttore di neutro), la corrente aumenterebbe tantissimo in pochissimi istanti (frazioni di secondo) e di conseguenza il campo magnetico da essa prodotto. Un relè ravvisa questo aumento e, attirando a sé una molla, aziona l'interruttore che apre il circuito.



Figura 39:
Magnetotermico unipolare

La parte termica dell'interruttore automatico magnetotermico funziona grazie ad una lamina "bimetallica" (cioè formata dall'unione meccanica di due metalli diversi). Come sappiamo dalla fisica, la corrente che percorre un conduttore lo scalda per effetto Joule. I metalli non fanno eccezione. Se la corrente che attraversa la lamina bimetallica fosse "troppo grande" (come nel caso del sovraccarico, quando cioè collego troppi utilizzatori alla stessa linea), il calore prodotto dalla corrente stessa ne produrrebbe una dilatazione (cioè un allungamento). Siccome la lamina è fatta da due metalli diversi, questi si dilateranno in modo diverso, ma essendo "attaccati" l'uno all'altro, la diversa dilatazione produrrà una flessione della lamina. La parte che si dilata maggiormente, "piegherà" su se stessa la parte che si dilata meno. Piegandosi in una certa direzione, la lamina si allontanerà dal contatto, aprendolo.

Alcuni apparecchi più moderni impiegano sistemi elettronici. Esistono in commercio dispositivi con valori limite prefissati da pochi a centinaia di Ampere ed altri in cui il valore è regolabile dall'installatore.

Ecco come appare un interruttore magnetotermico aperto (fig. 33).

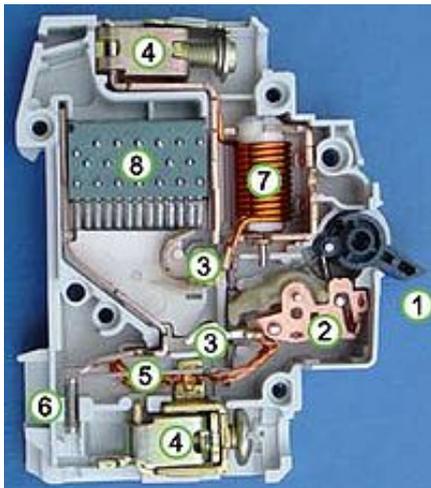


Figura 40: Interruttore magnetotermico aperto:

- 1 Leva di comando
- 2 Meccanismo di scatto
- 3 Contatti di interruzione
- 4 Morsetti di collegamento
- 5 Lamina bimetallica (rilevamento sovraccarichi)
- 6 Vite per la regolazione della sensibilità (in fabbrica)
- 7 Solenoide (rilevamento cortocircuiti)
- 8 Sistema di estinzione d'arco elettrico