

Luciano Luciani

# PROGETTARE L'IMPIANTO ELETTRICO

**DAL DIMENSIONAMENTO  
ALLA DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

AGGIORNATO ALLE NORME VIGENTI, ALLA VARIANTE V3 DELLA CEI 64-8,  
ALLE NUOVE PUBBLICAZIONI SUGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI  
E ALLE PRESCRIZIONI SULLA SICUREZZA



**CD-ROM INCLUSO**

DOCUMENTI DI PROGETTO, ESEMPI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

**GRAFILL**

Luciano Luciani

## PROGETTARE L'IMPIANTO ELETTRICO

ISBN 13 978-88-8207-431-9

EAN 9 788882 074319

Manuali, 101

Seconda edizione, maggio 2011

Luciani, Luciano <1962->

Progettare l'impianto elettrico : dal dimensionamento alla documentazione di progetto /  
Luciano Luciani. – 2. ed. – Palermo : Grafill, 2011.

(Manuali ; 101)

ISBN 978-88-8207-431-9

1. Impianti elettrici – Progettazione.

621.3193 CDD-22

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail [grafill@grafill.it](mailto:grafill@grafill.it)

Finito di stampare nel mese di maggio 2011

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

# Sommario

<b>PREFAZIONE</b> .....	p.	7
<b>PREFAZIONE ALLA SECONDA EDIZIONE</b> .....	"	8
<b>1. ELEMENTI PRATICI DI Elettrotecnica</b> .....	"	9
1.1. Elementi essenziali .....	"	9
1.2. Applicazioni nella pratica .....	"	17
<b>2. INTRODUZIONE AL PROGETTO</b> .....	"	20
2.1. Che cos'è un progetto elettrico .....	"	20
2.2. Introduzione alla norma .....	"	22
2.3. Contenuto tecnico dei progetti .....	"	26
2.4. Condizioni ambientali e influenze esterne .....	"	28
2.5. Analisi preventiva .....	"	30
<b>3. I COMPONENTI DELL'IMPIANTO</b> .....	"	34
3.1. Interruttori e protezioni .....	"	34
3.1.1. Interruttori di manovra e sezionatori .....	"	34
3.2. Interruttore automatico magnetotermico .....	"	35
3.3. Fusibili .....	"	40
3.4. Interruttori differenziali .....	"	42
3.5. Contattore .....	"	45
3.6. Relè termico .....	"	47
3.7. Comando di emergenza .....	"	47
<b>4. CAVI E CONDUTTURE</b> .....	"	48
4.1. Cavi .....	"	48
4.2. Designazione e caratteristiche dei cavi .....	"	49
4.3. Tubi e canali portacavi .....	"	52
4.4. Condotti sbarre .....	"	53
<b>5. PRESE A SPINA</b> .....	"	55
<b>6. GLI ASPETTI FONDAMENTALI DELLA SICUREZZA</b> .....	"	57
6.1. Le norme del settore elettrico .....	"	57
6.2. Contatti diretti .....	"	60
6.3. Impianto di messa a terra .....	"	64

6.4.	Sistemi di distribuzione e modi di collegamento a terra .....	p.	66
6.5.	Alimentazione dei servizi di sicurezza .....	"	69
6.6.	Contatti indiretti .....	"	70
6.7.	Ulteriori protezioni contro i contatti indiretti .....	"	75
6.8.	Protezione combinata contro i contatti diretti ed indiretti .....	"	77
6.9.	Protezione contro gli effetti termici.....	"	78
6.10.	Sovracorrenti.....	"	79
6.10.1.	Sovraccarico .....	"	80
6.10.2.	Cortocircuito .....	"	81
6.11.	Sovratensioni e abbassamenti di tensione .....	"	84
6.11.1.	Sovratensioni.....	"	84
6.11.2.	Protezione contro l'abbassamento di tensione.....	"	85
<b>7.</b>	<b>LA DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO.....</b>	"	86
7.1.	I dati di progetto .....	"	87
7.2.	Progetto preliminare.....	"	90
7.3.	Progetto definitivo .....	"	91
7.4.	Progetto esecutivo.....	"	92
7.5.	Documentazione finale di progetto.....	"	95
7.6.	Impianti non soggetti a progettazione.....	"	95
<b>8.</b>	<b>SCELTA ED INSTALLAZIONE DEI COMPONENTI ELETTRICI.....</b>	"	97
8.1.	Prescrizioni generali.....	"	97
8.2.	Condutture .....	"	97
8.3.	Quadri elettrici.....	"	99
<b>9.</b>	<b>SCHEDE DI CALCOLO.....</b>	"	102
9.1.	Calcolo e dimensionamento dell'impianto di messa a terra .....	"	102
9.2.	Dimensionamento e selettività degli interruttori differenziali .....	"	107
9.3.	Calcolo caduta di tensione.....	"	109
9.4.	Calcolo della rete elettrica .....	"	111
9.4.1.	Scelta del sistema di distribuzione.....	"	111
9.4.2.	Determinazione della corrente di impiego .....	"	112
9.4.3.	Scelta dei cavi e determinazione della portata .....	"	114
9.4.4.	Calcolo della corrente di sovraccarico e cortocircuito.....	"	116
9.4.5.	Verifica energia specifica passante .....	"	121
9.4.6.	Verifica della caduta di tensione.....	"	123
9.4.7.	Dimensionamento dei canali portacavo.....	"	123
9.5.	Calcolo illuminazione artificiale .....	"	125
9.5.1.	Calcolo per illuminazione di interni.....	"	128
<b>10.</b>	<b>SCHEDE DI PROGETTO.....</b>	"	133
10.1.	Illuminazione di sicurezza.....	"	133
10.2.	Rifasamento .....	"	136
10.3.	Prescrizioni per impianti residenziali, ordinari e similari.....	"	139

**11. SCHEDE DI PROGETTO.**

<b>IMPIANTI ED APPLICAZIONI PARTICOLARI</b> .....	p.	145
11.1. Impianti in locali contenenti bagni o docce .....	"	145
11.2. Piscine e fontane .....	"	146
11.3. Locali e cabine contenenti riscaldatori per sauna .....	"	148
11.4. Cantieri di costruzione e demolizione .....	"	149
11.5. Strutture adibite ad uso agricolo o zootecnico.....	"	150
11.6. Impianti di messa a terra per apparecchiature di elaborazione dati.....	"	151
11.7. Locali ad uso medico.....	"	152
11.7.1. Circuiti prese a spina.....	"	154
11.7.2. Alimentazione dei servizi di sicurezza dei gruppi 1 e 2.....	"	155
11.7.3. Circuiti di illuminazione di sicurezza .....	"	155
11.7.4. Verifiche dei locali appartenenti ai gruppi 1 e 2 .....	"	156
11.8. Fiere, mostre e stand.....	"	156
11.8.1. I componenti elettrici.....	"	157
11.9. Impianti fotovoltaici .....	"	158
11.9.1. Dati fondamentali per la progettazione .....	"	159
11.9.2. Analisi impianto fotovoltaico.....	"	162
11.9.3. Approfondimento prescrizioni tecniche.....	"	166
11.9.4. La connessione alla rete BT.....	"	170
11.9.5. La connessione alla rete in MT.....	"	171
11.9.6. Misura di energia elettrica per fini fiscali e tariffari .....	"	172
11.9.7. Protezioni contro i fulmini.....	"	172
11.9.8. La sicurezza delle installazioni.....	"	173
11.9.9. Attività soggette al controllo dei vigili del fuoco.....	"	173
11.10. Impianti di illuminazione situati all'esterno .....	"	174
11.10.1. Protezioni .....	"	176
11.10.2. Componenti.....	"	176
11.11. Ambienti a maggior rischio in caso di incendio.....	"	177
11.11.1. Protezione delle condutture.....	"	179
11.12. Impianti elettrici nei luoghi di pubblico spettacolo o intrattenimento.....	"	181
<b>12. IMPIANTI ELETTRICI NEI LUOGHI A RISCHIO DI ESPLOSIONE</b> .....	"	186
12.1. Pericolo di esplosione per la presenza di gas.....	"	188
12.2. Pericolo di esplosione per la presenza di polveri .....	"	190
12.3. Scheda tecnica per Centrali Termiche.....	"	192
12.4. Scheda tecnica per Autorimesse .....	"	194
12.5. Autofficine di riparazione autoveicoli .....	"	195
12.6. Scheda tecnica Locali di verniciatura .....	"	197
12.7. Scheda tecnica Falegnamerie .....	"	198
<b>13. VERIFICHE E MANUTENZIONE</b> .....	"	201
13.1. Verifiche iniziali.....	"	201
13.2. Verifiche periodiche .....	"	203

<b>14. SCARICHE ATMOSFERICHE.....</b>	p.	204
14.1. SPD.....	"	209
14.2. Tabelle precalcolate. Strutture autoprotette .....	"	211
14.3. Esempio di relazione tecnica della valutazione del rischio per protezione contro i fulmini .....	"	213
<b>15. LA SICUREZZA SUL LAVORO .....</b>	"	217
15.1. Decreto sicurezza.....	"	217
15.2. Disposizioni in materia di sicurezza nella progettazione degli impianti elettrici.....	"	218
15.3. Cantieri temporanei o mobili.....	"	221
15.4. Allegato XVII al D.Lgs. n. 81/2008 e seguente .....	"	228
15.5. Allegato XLIX al D.Lgs. n. 81/2008 e seguente.....	"	228
15.6. Denuncia delle installazioni e dei dispositivi contro le scariche atmosferiche e degli impianti di messa terra.....	"	230
<b>16. IL DECRETO MINISTERIALE 22 GENNAIO 2008, N. 37 .....</b>	"	232
<b>17. PROGETTO E DOCUMENTAZIONE DI ESEMPIO .....</b>	"	238
17.1. Progetto preliminare.....	"	238
17.2. Progetto esecutivo.....	"	246
<b>18. ALLEGATI.....</b>	"	256
18.1. Norme vigenti .....	"	256
18.2. Attività soggette a prevenzione incendi.....	"	265
18.3. Simboli elettrici .....	"	271
18.4. Selettività dei fusibili.....	"	274
18.5. Caratteristiche dei cavi.....	"	276
18.6. Relazione tecnica per gli impianti non soggetti a progettazione.....	"	291
18.7. Sigla di designazione secondo CEI 20-27 .....	"	292
18.8. Sigla di designazione secondo CEI UNEL 35011 .....	"	293
<b>19. GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO.....</b>	"	295
19.1. Introduzione al CD-ROM allegato.....	"	295
19.2. Requisiti minimi hardware e software.....	"	296
19.3. Procedura per la richiesta della password utente .....	"	297
19.4. Procedura di installazione per gli utenti Microsoft Windows.....	"	297
19.5. Procedura di installazione per gli utenti Macintosh .....	"	298
19.6. Procedura per la registrazione del software.....	"	298
19.7. Utilizzo del software in ambiente Microsoft Windows .....	"	299
19.8. Utilizzo del software in ambiente Macintosh .....	"	299

## Prefazione

Il testo si prefigge l'obiettivo di fornire i concetti tecnici di base e gli strumenti pratici per l'esecuzione dei documenti formali di un progetto elettrico preliminare, definitivo ed esecutivo, nel rispetto normativo e per le varie tipologie di installazione in ambito civile, industriale e terziario.

Dopo un breve richiamo essenziale dei principi di base dell'elettrotecnica e dei calcoli fondamentali, si introdurrà la prima parte normativa che permetterà di definire i concetti di base su cui fondare le scelte tecniche future.

Pur facendo richiami ai principali calcoli elettrici o al funzionamento dei dispositivi essenziali, il testo si rivolge sia a tecnici che intendono inserirsi nel campo della progettazione elettrica, sia a progettisti con maggior esperienza.

Una parte del testo è dedicata ai principi fondamentali di sicurezza che dovranno essere usati per dimensionare l'impianto e dettare i criteri per la relativa installazione.

Il passo successivo chiarirà la sequenza della documentazione di progetto ed il contenuto specifico da redigere per le fasi principali.

Sarà a questo punto necessario approfondire ulteriori nozioni normative e le prescrizioni di sicurezza a cui l'impianto dovrà rispondere.

Dovranno qui essere considerati due aspetti fondamentali: la sicurezza che l'impianto dovrà garantire, e l'aspetto funzionale. Si ricorda che la funzionalità e la sicurezza sono parti coesistenti e fra loro collegate.

Si approfondiranno a questo punto i calcoli che porteranno al dimensionamento pratico degli elementi dell'impianto.

Solo a questo punto potranno essere affrontate le fasi che permetteranno di giungere alla redazione di tutti i documenti progettuali.

Si affronterà ogni aspetto in relazione al contesto dell'impianto, dell'ambiente o della destinazione d'uso, corredandolo di tabelle e prospetti precalcolati a cui il lettore potrà successivamente riferirsi per la redazione dei propri progetti reali.

Saranno compresi nel testo sufficienti esempi, per comprendere la preparazione dei documenti e le modalità per calcolarli. Si apprenderanno le nozioni sui quadri elettrici, sulle apparecchiature di protezione e sui sistemi di distribuzione.

Oltre ad approfondire gli aspetti di calcolo dell'impianto, sono presenti una serie di tabelle di dati ed informazioni di ricorrente consultazione e di calcolo rapido, inserite ad ausilio del tecnico, nei diversi capitoli che affronteranno lo specifico argomento.

Saranno inoltre incluse numerose schede tecniche dedicate ad una vasta tipologia di impianti, e le nozioni principali dei diversi sistemi applicativi e circuitali, come gli impianti di messa a terra di protezione, gli impianti di illuminazione generale e di illuminazione di emergenza, i sistemi di riserva ed UPS, le protezioni da sovratensione da fulmine, le centrali termiche, ed altre applicazioni pratiche.

Sono riportate in appendice ulteriori tabelle per un rapido dimensionamento, consultazione e riferimento alla normativa essenziale.

Il testo è accompagnato da un CD contenente le schede progettuali editabili, semplici fogli di calcolo per il dimensionamento delle principali attività di progetto, funzionanti con il programma Microsoft Excel®. Sono anche inclusi schemi elettrici editabili in formato *DWG* di Autocad, un esempio di capitolato ed un computo metrico estimativo, entrambi editabili e configurabili.

Saranno inoltre contenute le principali leggi citate nel testo.

## □ **Prefazione alla seconda edizione**

In questa seconda edizione il testo è stato aggiornato ed ampliato in alcune parti per fornire al lettore ulteriori informazioni che lo aiuteranno ad affrontare la definizione ed il dimensionamento degli impianti elettrici, inoltre sono state integrate le più recenti prescrizioni normative, così che il testo continui ad essere un adeguato strumento di lavoro.

È trattata in modo ampio la variante V3 della norma CEI 64-8 che estende aree normative destinate sia alle installazioni civili, sia ad alcuni specifici settori illustrati nella parte settima, in cui sono contenute le applicazioni particolari, come ad esempio gli ambienti zootecnici, gli impianti per fiere e stand, i componenti con elevate correnti di dispersione ed altri.

Sono inoltre state introdotte le disposizioni riferite alla protezione dalle sovratensioni con la definizione delle modalità di inserimento degli scaricatori (SPD) e le varie tipologie di connessione.

È stato poi ampliato il capitolo sugli impianti fotovoltaici che ad oggi è diventato un settore importante nel campo della progettazione elettrica.

In fine, parte delle norme ritenute essenziali sul settore della sicurezza sono state rese conformi alle ultime disposizioni e decreti pertinenti.

# Elementi pratici di elettrotecnica

In questo capitolo faremo una breve e semplice introduzione agli elementi dell'elettrotecnica senza addentrarci nella complessità di calcolo approfondito della materia. Ci indirizzeremo solo agli elementi di base, alla nomenclatura essenziale e alle formule indispensabili e pratiche che dovremo usare nel dimensionamento degli elementi che costituiranno l'impianto.

Questo ci permetterà inoltre di poter comprendere, in modo soddisfacente, alcune prescrizioni normative, la corretta applicazione degli apparecchi elettrici e degli elementi circuitali utilizzati ai fini della sicurezza.

## □ 1.1. Elementi essenziali

Iniziamo definendo il significato di **Tensione elettrica**.

La tensione è la differenza di potenziale elettrico fra due poli che genera un flusso di corrente elettrica, fra i poli stessi, se questi ultimi sono fra loro collegati attraverso un utilizzatore. Facciamo un classico paragone con un sistema idraulico.

Immaginiamo due serbatoi di acqua collegati fra loro da un tubo, come illustrato nella figura seguente.

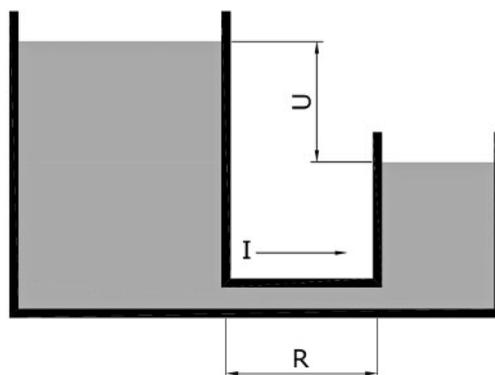


Fig. 1. Analogia idraulica dei sistemi elettrici

La tensione elettrica  $U$  (differenza di potenziale elettrico o forza elettromotrice) possiamo, per analogia, paragonarla alla differenza di livello dell'acqua dei serbatoi, l'unità di misura è il Volt (abbreviato  $V$ ). Ad esempio tensione a 230 Volt, come il valore di quella generalmente utilizzata nelle abitazioni.

Per il principio dei vasi comunicanti, fra i serbatoi dell'acqua si cercherà di ristabilire lo stesso livello facendo passare una parte dell'acqua dal serbatoio con livello più alto a quello più basso, attraverso il tubo di collegamento.

La **corrente elettrica** è paragonabile all'acqua che scorre nel tubo.

La corrente si misura in Ampere (A).

L'intensità di corrente si indica con la lettera *i* maiuscola (I).

Pertanto diciamo che l'intensità di corrente *I*, che percorre un conduttore, è un determinato valore misurato in A (es. 10 A).

Il flusso di corrente (acqua) che percorre un conduttore elettrico (il tubo nel nostro esempio) nell'unità di tempo, sempre facendo riferimento alla figura precedente, dipende da un fattore specifico, oltre che dalla differenza di potenziale. Questo fattore è definito **Resistenza**, che nel caso del tubo dipende dalla sezione del tubo stesso e dal coefficiente di attrito causato dalle pareti della tubazione all'acqua, dalla lunghezza del tubo, ecc.. I conduttori e gli utilizzatori elettrici sono anch'essi elementi caratterizzati da una resistenza elettrica, che "impediranno", parzialmente, al flusso di corrente di attraversarli.

Questi tre elementi: tensione, corrente e resistenza, sono legati fra loro da una relazione matematica fondamentale e ricorrente (anche in forme più specifiche, come vedremo in seguito) chiamata Legge di Ohm.

Ci riferiamo per ora ad un sistema definito: **corrente continua** (c.c.).

Questo sistema ha un polo positivo ed un polo negativo che rimangono costanti nel tempo.

La legge di Ohm dice che: La tensione è data dal prodotto dell'intensità della corrente elettrica, moltiplicata per la resistenza elettrica dei conduttori e degli utilizzatori.

$$U = I \times R$$

Di conseguenza, essendo generalmente la tensione elettrica il fattore costante, possiamo determinare gli altri due fattori variabili.

$$I = U / R \quad \text{e} \quad R = U / I$$

In riferimento all'esempio di figura 1 supponiamo che:

- la Tensione *U* sia pari a 230 V;
- la resistenza introdotta dal tubo sia di 10 Ohm ( $\Omega$ ).

Dalla Legge di Ohm abbiamo:

$$I = U / R = 230 / 10 = 23 \text{ A}$$

Introduciamo il concetto di **Potenza** elettrica *P*. La potenza è il lavoro compiuto nell'unità di tempo di 1 secondo. È determinata dal prodotto della tensione per la corrente, e si misura in Watt (W):

$$P = U \times I$$

di conseguenza

$$U = P / I \quad \text{e} \quad I = P / U$$

e anche secondo le equazioni precedenti:

$$P = R \times I^2 \quad \text{e} \quad R = P / I^2$$

La potenza elettrica fornita per un periodo di tempo determina l'**Energia** elettrica  $E$  (fornita dal generatore o assorbita dall'utilizzatore).

Ad esempio un motore di potenza elettrica  $P$  di 1 kW (mille Watt) che funziona per un'ora, richiede l'energia  $E$ , di 1 kWh, (1 kilowatt ora).

Analogamente, un motore di 0,5 kW funzionante per 2 ore, assorbe l'energia  $E$ , di 1 kWh. Portiamo il tutto in un circuito elettrico ed otteniamo:

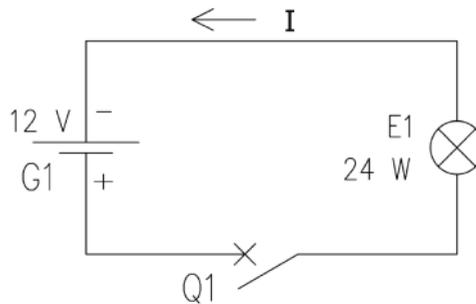


Fig. II. Circuito corrente continua

La tensione della pila di 12 V che alimenta una lampadina da 24 W, farà circolare nell'impianto e quindi nella lampada stessa la corrente pari a:

$$I = P / U = 24 / 12 = 2 \text{ A}$$

Di conseguenza la resistenza della lampada è pari a:

$$R = U / I = 12 / 2 = 6 \text{ } \Omega$$

oppure

$$R = P / I^2 = 24 / 4 = 6 \text{ } \Omega$$

Quindi, una lampada da 24 W funzionante a 12 V, parametri tecnici fondamentali che la caratterizzano, avrà il filamento che introdurrà fisicamente una resistenza di 6  $\Omega$ .

Come accennato in precedenza, anche i conduttori elettrici che alimentano la lampada introducono una resistenza, che in questo caso sarà determinata dai parametri fisici del conduttore stesso, con la seguente relazione:

$$R = \rho \times L / s$$

dove:

$L$  lunghezza del conduttore in metri;

$s$  sezione del conduttore in  $\text{mm}^2$ ;

$\rho$  (si legge *ro*) è la resistenza specifica o resistività di un conduttore di lunghezza pari ad un metro e di sezione di 1  $\text{mm}^2$ . Per il rame  $\rho = 0,017 \div 0,018$  circa.

Quindi sempre per la legge di Ohm  $U = R \times I$ , sostituendo  $R$  otteniamo:

$$U = I \times \rho \times L / s$$

Se nel circuito precedente, i conduttori sono di sezione pari ad 1  $\text{mm}^2$ , e la loro lunghezza complessiva è pari a 100 metri, otteniamo che:

$$R_{\text{conduttori}} = \rho \times L / s = 0,017 \times 100 / 1 = 1,7 \text{ } \Omega$$

La corrente che circolerà nel circuito sarà pari a:

$$I = U / (R_{\text{lampada}} + R_{\text{conduttori}}) = 12 / (6 + 1,7) = 1,56 \text{ A}$$

Ai due capi della conduttura si creerà una tensione, definita caduta di tensione ( $\Delta U$ ) data da:

$$\Delta U = I \times (\rho \times L / s) = 1,56 \times 1,7 = 2,65 \text{ V}$$

La tensione ai capi della lampada  $U_l$  sarà quindi pari a:

$$U_l = U - \Delta U = 12 - 2,65 = 9,35 \text{ V}$$

che in percentuale è pari a:

$$\Delta U\% = \Delta U / U \times 100 = 2,65 / 12 \times 100 = 22\%$$

Da quanto sopra calcolato, risulta che la potenza della lampada, che sarà trasformata in energia luminosa, si riduce a:

$$P_{\text{lampada}} = U_{\text{lampada}} \times I = 9,35 \times 1,56 = 14,59 \text{ W}$$

e la potenza dissipata dai conduttori vale:

$$P_{\text{conduttori}} = \Delta U \times I = 2,65 \times 1,56 = 4,13 \text{ W}$$

Questa potenza sarà dissipata sotto forma di calore. Questo è definito Effetto Joule (si pronuncia gioul).

Questo effetto è sfruttato in modo positivo per alcune applicazioni, come ad esempio per un riscaldatore, quando si richiede una generazione di calore. È invece negativo il riscaldamento dei rivestimenti isolanti dei cavi, che possono resistere fino a temperature prefissate, oltre le quali il deterioramento è precoce. Vedremo quindi, nel dimensionamento delle condutture elettriche, che di questi valori se ne dovrà tenere conto nel calcolo di dimensionamento del circuito.

Inoltre i risultati di cui sopra sarebbero, se il circuito fosse realmente realizzato, particolarmente sconvenienti. La lampada avrebbe un rendimento pessimo, ed il circuito dissiperebbe 4,13 Wh di energia, che andrebbe dispersa in calore.

Nella pratica, secondo i criteri della norma CEI 64-8, oltre al contenimento delle temperature, si farà in modo che la caduta di tensione percentuale sia contenuta a valori determinati, in relazione al tipo di utilizzatore alimentato. In ogni caso verrà mantenuta inferiore al 5%.

### **Corrente alternata**

Quanto fino ad ora detto vale per i circuiti in corrente continua, vale a dire in quei circuiti il cui valore della tensione e della corrente hanno un valore costante nel tempo.

La corrente alternata si differenzia in quanto i valori delle due grandezze, tensione e corrente, sono variabili nel tempo, assumendo i valori vettoriali indicati nella forma tipica *sinusoidale* che li contraddistingue (Fig. III).

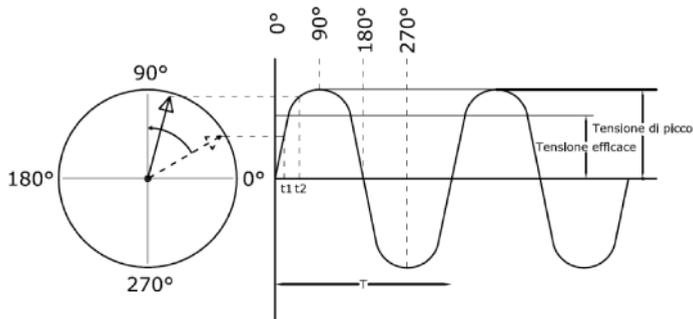


Fig. III. Sinusoide

Il motivo della forma d'onda dipende dal modo di generazione dell'energia.

Un generatore elettrico a corrente alternata, o più semplicemente *alternatore*, è basato sul fenomeno dell'induzione elettromagnetica, che è il fenomeno che si manifesta in un conduttore elettrico che ruoti a velocità costante in un campo magnetico uniforme, attorno ad un asse parallelo al conduttore.

Nel conduttore, che taglia le linee di forza del campo magnetico, si genera una forza elettromotrice indotta.

Otteniamo quindi un sistema capace di generare rispetto al punto N (neutro), inteso come punto a valore zero del sistema stesso, una corrente ed una tensione che, a partire dal punto zero, assume il valore massimo (o di picco) positivo, per ridiscendere al punto zero, per poi invertire il flusso e raggiungere il valore massimo negativo, per poi ritornare al punto zero e ricominciare un successivo periodo  $T$ . Il numero di volte in cui ciò accade in un secondo è definita **frequenza**  $f$ .

Nel nostro sistema di distribuzione la frequenza è di 50 Hz (hertz).

La frequenza ed il periodo sono legati dalla relazione:

$$f = 1 / T$$

### *Corrente alternata monofase*

I conduttori che trasportano l'energia sono due, il **neutro**, che equivale al valore zero costante del sistema, ed il conduttore di **fase**, che è il conduttore che assume valori di tensione e corrente con grandezze variabili alternate. Questo sistema è costituito da una singola fase, oltre al neutro, e quindi è denominato **monofase**.

Il valore di picco  $Y_m$  è il valore massimo, positivo o negativo, che la grandezza può assumere.

Il valore **efficace**  $Y$ , che acquista per noi un valore più funzionale nell'attività pratica, è l'analogo valore che assumerebbe una corrente continua tale da produrre gli stessi effetti termici generati dalla sinusoide di valore  $Y_m$ .

Le due grandezze sono legate dalla relazione  $Y = Y_m / \sqrt{2}$

Questo significa che per il nostro sistema di distribuzione a tensione di 230 V il valore di picco deve essere pari a:

$$230 \times \sqrt{2} = 325 \text{ V}$$

### *Rapporto di fase*

Come abbiamo detto, l'onda sinusoidale si genera sia per grandezze di tensione, sia per grandezze di corrente. Questo permette l'applicazione della legge di Ohm, prima definita, anche alle correnti alternate. Questo può essere fatto alla sola condizione che le grandezze tensione e corrente siano sovrapponibili, cioè che entrambe le grandezze raggiungano il valore massimo nel medesimo istante.

Nella realtà i valori non sono "in fase" fra loro, ciò dipende dalle reattanza induttiva e capacitiva del circuito e degli utilizzatori.

La **reattanza induttiva** può essere definita, in modo semplicistico, come l'impedimento che il circuito oppone al passaggio della corrente, dovuto al campo magnetico che la corrente alternata provoca attorno al conduttore.

Vale cioè lo stesso concetto citato prima: se un conduttore taglia un campo magnetico genera al suo interno una corrente, se invece facciamo scorrere nel conduttore una corrente, questa genera un campo magnetico attorno al conduttore stesso. Dalle caratteristiche fisiche del conduttore e dal modo in cui si sviluppa, otteniamo un valore di induttanza "L" misurata in henry.

La reattanza induttiva  $X_L$  misurata anch'essa in Ohm, essendo comparabile ad una resistenza, è data da:

$$X_L = 2\pi \times f \times L$$

Un ulteriore effetto che si manifesta fra i conduttori percorsi da corrente è la generazione di campi elettrostatici, da qui si sviluppa la **reattanza capacitiva**.

(Capacità elettrica è definita come la quantità di elettricità presente in un conduttore riferita al potenziale da cui è alimentato).

In effetti fra i conduttori, o fra il conduttore e la terra, si crea un **condensatore**. Il condensatore elettrico è un apparecchio che accumula cariche elettriche di segno opposto e quindi energia elettrostatica.

Anche la reattanza capacitiva  $X_C$  crea una certa opposizione al passaggio della corrente e uno sfasamento, che però risulta essere in anticipo alla tensione. Si verifica quindi l'effetto contrario della reattanza induttiva.

In relazione alla frequenza e al valore della **Capacità**, espressa in farad, la reattanza capacitiva è data, in Ohm, dalla seguente formula:

$$X_C = 1 / (2\pi \times f \times C)$$

La reattanza del circuito quindi, assume valore, misurato in Ohm, pari a:

$$X = X_L - X_C$$

Si determina un ulteriore elemento che esprime l'effetto di "opposizione", che tiene conto di entrambi i fenomeni che "impediscono" il passaggio della corrente, ossia: la resistenza e la reattanza (induttiva e capacitiva).

Abbiamo quindi l'**Impedenza "Z"**, che è data, in Ohm, da:

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)}$$

Quindi la relazione  $I = U / R$ , sarà più correttamente espressa nei circuiti a corrente alternata in:

$$I = U / Z$$

Potendo rappresentare le grandezze sinusoidali come vettori, lo sfasamento può essere espresso dall'angolo  $\varphi$  fra i due vettori: tensione e corrente.

Per comprendere il concetto di sfasamento, (Fig. IV), la corrente risulta essere in ritardo rispetto alla tensione.

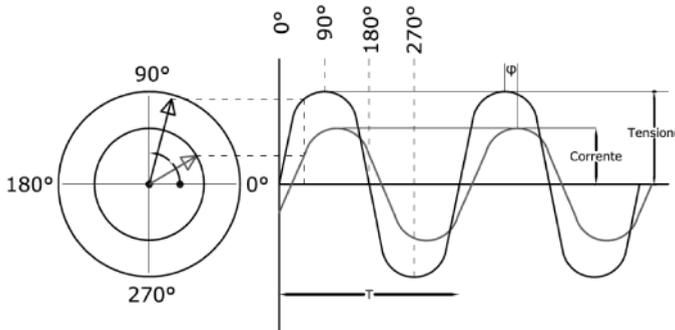


Fig. IV. Sfasamento tensione corrente

Per il calcolo della potenza dobbiamo tener conto dello sfasamento fra le due grandezze, pertanto la potenza, sarà così definita:

**potenza apparente** data da:

$$S = U \times I \text{ (VA)}$$

**potenza attiva** pari a:

$$P = U \times I \times \cos\varphi \text{ (W)}$$

**potenza reattiva.**

$$Q = U \times I \times \sin\varphi \text{ (VAR)}$$

Da queste definizioni possiamo trarre le seguenti informazioni.

La corrente che circolerà nel circuito sarà effettivamente la corrente  $I$  complessiva, ma agli effetti pratici la potenza utilizzabile "attiva" sarà inferiore. La potenza reattiva misura quella parte di potenza perduta. In genere i circuiti risultano di tipo induttivo, proprio a causa degli utilizzatori e dei conduttori utilizzati, dove l'effetto capacitivo è più ridotto.

I circuiti dovranno però essere dimensionati per la corrente complessiva, e l'Ente Erogatore Pubblico, a cui siamo connessi, dovrà comunque metterci a disposizione una quantità di energia che andrà persa. Per utenze importanti, generalmente dopo i 30 kW, il misuratore posto dall'Azienda Erogatrice sarà composto da un doppio contatore, uno che misura la potenza attiva, l'altro che misura la potenza reattiva. Una parte di quest'ultima sarà addebitata all'utente.

Per questo motivo è bene che il  $\cos\varphi$  non sia minore di 0,9 (angolo di sfasamento di circa  $25^\circ$ ).

Per ottenere questo, in alcune installazioni in cui il  $\cos\varphi$  è inferiore a 0,9, si dovrà procedere al rifasamento. Di questo tratteremo nel dettaglio in seguito.

### *Corrente alternata trifase*

La corrente alternata trifase segue gli stessi principi di quella esposta, denominata monofase.

In questo caso le fasi che trasportano l'energia sono tre,  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  ed il neutro, che può o meno essere distribuito, rimane comunque uno solo. Le tre fasi sono tra loro sfasate di  $120^\circ$ , come indicato in figura seguente (da non confondere con lo sfasamento fra tensione e corrente).

Si potrebbe immaginare un generatore trifase come tre generatori di corrente monofase, contemporaneamente funzionanti alla stessa frequenza, ma con le fasi traslate di  $120^\circ$ .

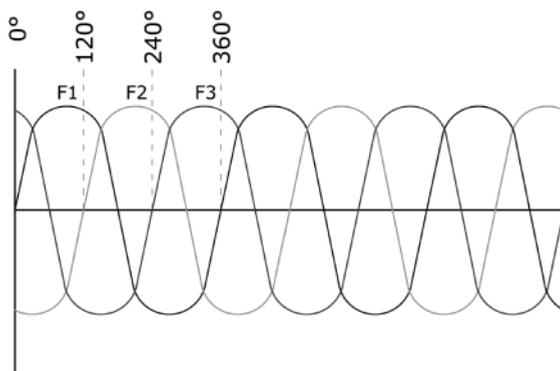


Fig. V. Sistema trifase

La **tensione concatenata**  $U$ , avrà un valore (convenzionalmente in Italia è pari a 400 V) legato alla tensione applicata ai poli fase-fase. Mentre **tensione di fase**  $U_0$  (che per le utenze in Italia ha un valore di 230 V), è la tensione fra una fase ed il neutro, legate dalla relazione:

$$U_0 = U / \sqrt{3}$$

cioè:

$U_0$  Tensione di fase (230 V);

$U$  Tensione concatenata (400 V).

La potenza sarà così determinata:

**potenza apparente** data da:

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \text{ (VA)}$$

**potenza attiva** pari a:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi \text{ (W)}$$

**potenza reattiva.**

$$Q = \sqrt{3} \times U \times I \times \sin\varphi \text{ (Var)}$$

Va notato che in qualsiasi istante la somma vettoriale delle tensioni sarà pari a zero volt. Se il circuito sarà sostanzialmente equilibrato, la somma vettoriale delle correnti di fase sarà uguale a zero ampere, dando come risultato di somma vettoriale un valore nullo di corrente di neutro. Se diversamente l'assorbimento di corrente sulle tre fasi è di valore differente, la sommatoria vettoriale della corrente che percorre il conduttore di neutro assumerà un valore diverso da zero.

I vantaggi per i quali la distribuzione e l'utilizzazione dell'energia avviene in sistema trifase sono sostanzialmente due.

Il primo, facilmente comprensibile, consiste nella maggior energia trasportabile da un circuito con perdite sostanzialmente inferiori, e questo permette anche l'ottimizzazione dei conduttori, non avendo la necessità di eguagliare il numero di conduttori di neutro a quelli delle fasi, come avviene per i circuiti monofase. Il secondo perché la distribuzione trifase permette la creazione di un **campo magnetico rotante**. Praticamente lo sfasamento fra le fasi crea automaticamente un campo magnetico che ruota, condizione facilmente sfruttabile nella realizzazione dei motori elettrici, supposti ovviamente alla rotazione.

Nei motori elettrici monofase lo sfasamento che permette la rotazione deve essere creato in modo artificioso, con conseguente perdita di rendimento.

## □ 1.2. Applicazioni nella pratica

Diamo in primo luogo una idea pratica delle applicazioni del paragrafo precedente riferita alla tecnica degli impianti elettrici.

Vediamo le principali applicazioni e le rispettive grandezze elettriche con cui ci troveremo a lavorare.

### *Correnti continue*

Troveremo alcune applicazioni in corrente continua principalmente in impianti in cui sarà necessario poter accumulare una certa quantità di energia elettrica. Ricordiamo che l'energia in corrente alternata non può essere conservata, mentre quella continua è accumulabile in batterie elettriche. Oggi si fa molto uso di gruppi di continuità statici, gli UPS (Uninterruptible Power Supply = alimentatore non soggetto a interruzioni).

Per grandi centri di elaborazione dati, ad esempio, l'energia elettrica alternata viene convertita in corrente continua, proprio per essere accumulata in batterie.

In questo modo in caso di assenza della fonte di energia primaria, verrà riconvertita in corrente alternata l'energia accumulata nelle batterie. In altri casi, in centri di elaborazione dati o in armadi di telecomunicazione (che comprende anche comunicazione dati), vengono direttamente alimentate le apparecchiature in corrente continua. Qui, dato l'uso di tensioni piuttosto basse, in genere le batterie lavorano a 12 o 24 V, le correnti in gioco possono essere notevoli. Ovviamente dipenderà dallo specifico impianto e dalla sua estensione.

Esistono numerose soluzioni d'uso delle correnti continue, specialmente nel funzionamento di macchinari o dispositivi elettronici, ma in genere fanno parte di impianto a "bordo macchina", assemblato cioè con la macchina stessa, che richiederà molto probabilmente una alimentazione in corrente alternata, provvedendo poi, attraverso le proprie specifiche funzioni alle applicazioni in corrente continua.

Un utilizzo della corrente continua che sta diventando molto frequente negli ultimi anni riguarda gli impianti fotovoltaici. Tutta l'energia elettrica prodotta da questi impianti è di tipo continuo e viene trasformata, da appositi apparecchi definiti inverter, in corrente alternata.

Nei capitoli che riguarderanno le applicazioni degli impianti sarà sviluppata la metodologia di calcolo e di installazione di questa specifica categoria di produzione elettrica. Per questo fine sarà necessario comprendere alcuni calcoli essenziali sui generatori di corrente in base al loro modo di collegamento.

Possiamo trovare due differenti circuiti. Generatori collegati in parallelo e generatori collegati in serie.

La combinazione di circuiti più complessi può essere ricondotta a quelli di base.

#### *Collegamento in serie*

Due generatori posti in serie fra loro si comportano come un singolo elemento caratterizzato dalla somma delle tensioni di ogni generatore e percorso dalla stessa corrente elettrica.

Immaginiamo un generatore con tensione  $U$  di 20 V e di potenza  $P$  pari a 200 W. Produrrà una corrente elettrica di:

$$P / U = 200/20 = 10 \text{ A}$$

Se due generatori di questo tipo fossero collegati in serie, otterremmo ai capi del generatore risultante la somma delle due tensioni che si sviluppano ai capi di ogni singola unità che sarà pari a  $U_c$ :

$$U_c = U_1 + U_2 = 20 + 20 = 40 \text{ V}$$

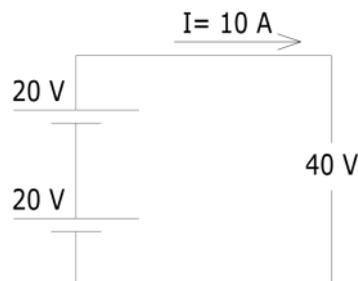
La corrente che attraverserà il circuito, sarà la corrente nominale del singolo generatore. In questo caso sarà quindi di 10 A.

La potenza  $P_c$  sviluppata dal nuovo generatore sarà:

$$P_c = (U_1 + U_2) \times I = (20+20) \times 10 = 400 \text{ W}$$

Possiamo quindi vedere che il generatore risultante avrà:

- **tensione:** somma delle tensioni ai capi del singolo generatore;
- **corrente:** corrente nominale del singolo generatore;
- **potenza:** somma delle potenze dei singoli generatori.



#### *Collegamento in parallelo*

Nel caso in cui i generatori fossero collegati in parallelo otterremmo che la tensione ai capi del generatore risultante sarebbe uguale alla tensione del singolo elemento, mentre la corrente di ognuno si sommerebbe dando luogo ad una corrente complessiva  $I_c$ :

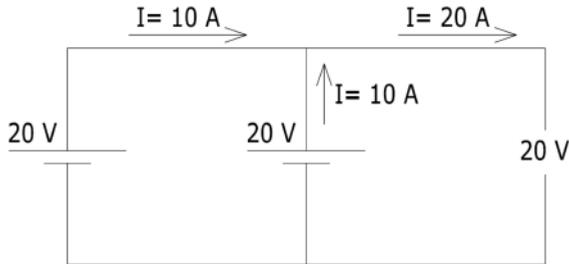
$$I_c = I_1 + I_2 = 10 + 10 = 20 \text{ A}$$

La potenza  $P$  sviluppata dal generatore sarebbe:

$$P_c = U \times (I_1 + I_2) = 20 \times (10 + 10) = 400 \text{ W}$$

Possiamo quindi vedere che il generatore risultante avrà:

- **tensione:** tensione del singolo generatore;
- **corrente:** somma delle correnti nominali di ogni singolo generatore;
- **potenza:** somma delle potenze dei singoli generatori.



In pratica, in entrambe le soluzioni sommeremo la potenza prodotta, mentre le tensioni e le correnti avranno un diverso comportamento.

L'uso di queste soluzioni e dei relativi parametri elettrici ottenibili è fondamentale nella scelta e nel dimensionamento dei moduli fotovoltaici per ottenere le necessarie tensioni e correnti di lavoro per coordinare la produzione di energia con i parametri elettrici degli inverter.

Sono stati volutamente utilizzati generatori di caratteristiche uguali, in quanto, il comportamento di elementi diversi fra loro generano flussi di correnti anomale fra un generatore e l'altro. Nella pratica quindi si farà in modo che tutti i generatori collegati fra loro, anche realizzando combinazioni più complesse, saranno collegati fra loro rispettando le seguenti regole:

- nei collegamenti in parallelo le tensioni dovranno essere uguali;
- nei collegamenti in serie le correnti dovranno essere uguali.

### **Correnti alternate**

Ci troveremo sicuramente molto più frequentemente a dover dimensionare gli impianti in correnti monofase o trifase di tipo alternato.

Gli impianti monofase, prevedono generalmente potenze limitate. Sono indicate per utenze domestiche o piccole attività.

Generalmente l'ente pubblico di distribuzione non fornisce utenze monofase superiori a 10 kW. Per potenze maggiori si opta per distribuzioni trifase. Ovviamente dipenderà anche dagli utilizzatori che dovremo alimentare. Non sarebbe possibile alimentare una apparecchiatura trifase, disponendo di tensioni monofase.

Per potenze superiori a 100 kW, l'Ente erogatore potrebbe non essere in grado di fornire l'utenza in bassa tensione, quindi sarà necessario ricorrere a cabine di trasformazione per trasformare appunto l'energia in Media Tensione fornita dall'Ente, in Bassa Tensione, utilizzabile per i nostri scopi (cabine MT/BT).

Il limite di potenza oltre il quale la fornitura sarà in media tensione andrà verificata con il Fornitore. Dipenderà dalle caratteristiche della rete pubblica.

I calcoli di base presentati al capitolo precedente entreranno in gioco nel dimensionamento dell'impianto. Ovviamente non saranno gli unici ma da questi potremo però comprendere ed approfondire i calcoli essenziali per un corretto dimensionamento.

## Introduzione al progetto

### □ 2.1. Che cos'è un progetto elettrico

Analizziamo cosa intendiamo per progetto elettrico secondo la vigente legislazione. Il progetto è uno studio di vari fattori tecnici che producono, attraverso l'elaborazione suddivisa in passi graduali, le informazioni complessive che permettono poi la realizzazione dell'impianto a regola d'arte.

Approfondiamo meglio quanto abbiamo detto. Definiamo quindi cosa intendiamo per:

- 1) **impianto elettrico**;
- 2) **regola d'arte**;
- 3) studio dei **fattori tecnici**.

L'**impianto elettrico** è l'insieme dei vari componenti che sono elettricamente connessi fra loro, allo scopo di soddisfare specifiche funzioni. L'impianto è generalmente connesso alla rete pubblica di alimentazione. Può essere alimentato attraverso il contatore posto dall'Azienda Erogatrice in bassa tensione, oppure in media tensione attraverso una apposita cabina di trasformazione, realizzata a cura dell'utente, atta a convertire in bassa tensione l'energia fornita. In entrambi i casi l'impianto ha origine dal punto di consegna da parte del Fornitore. In alternativa l'impianto può avere produzione di energia autonoma o mista.

L'impianto sarà costituito dai quadri elettrici in cui saranno alloggiati i dispositivi di protezione e controllo dell'impianto, in genere formati da più armadi derivati da quello principale installato a valle del punto di consegna, e dislocati nelle varie zone della struttura. È compresa nell'impianto tutta la rete di distribuzione dell'energia, dai quadri agli utilizzatori. Tale distribuzione avrà diverse tipologie costruttive che dipenderanno da scelte pratiche o necessità specifiche dell'immobile o dell'attività.

Possiamo ad esempio realizzare la distribuzione attraverso tubazioni posate ad incasso nelle murature, che conterranno i conduttori, oppure realizzarla attraverso la posa di canali o passerelle, di vario genere e caratteristiche, in cui saranno alloggiati i cavi. Fanno inoltre parte dell'impianto tutti gli apparecchi elettrici ad esso collegati in modo fisso, come ad esempio le lampade e le prese elettriche. Non si considerano invece facenti parte dell'impianto gli apparecchi utilizzatori connessi alle prese a spina, salvo che non si tratti di apparecchi fissi alimentati da presa elettrica con utilizzo esclusivo. Sono anche compresi gli impianti di protezione come ad esempio l'impianto di messa a terra, che costituisce uno dei principali mezzi a salvaguardia delle persone.

Il concetto di **regola d'arte** è stato introdotto dalla Legge 1 marzo 1968, n. 186 *"Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici"*. Questa legge impone che i materiali e gli impianti siano realizzati a regola d'arte, e che si considerano tali se realizzati secondo il rispetto dei criteri dettati dalle norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) e UNI (Ente Nazionale di Unificazione). È da