

# Capitolo 1

## Generalità sugli impianti

La nascita degli impianti elettrici si fa risalire agli inizi del decennio 1880-1890, quando si realizzarono le prime reti di distribuzione pubblica alimentate mediante generatori in corrente continua. In realtà, i primi impianti apparvero agli inizi dell'Ottocento con il telegrafo, quando lunghe linee telegrafiche vennero realizzate prima negli Stati Uniti, poi in Europa. Quale che sia la data di nascita, una cosa è certa: gli impianti sono stati caratterizzati da un progresso davvero notevole, contribuendo a loro volta al progresso di molti altri settori tecnologici ed al miglioramento delle condizioni di vita e di lavoro della collettività. Questi importanti successi sono sostanzialmente legati a due motivi: il primo è la possibilità offerta dall'energia elettrica di essere convertita con semplicità e con elevato rendimento in molte altre forme di energia (meccanica, luminosa, chimica e termica); il secondo è dovuto al fatto che la produzione dell'energia elettrica, in larga parte concentrata in grandi centrali elettriche, viene effettuata utilizzando fonti primarie che non sarebbero altrimenti utilizzabili (pensate alle centrali idroelettriche).

La richiesta di energia elettrica è aumentata senza sosta dall'inizio del secolo. Fino al 1970, nei paesi industrializzati, si è avuto mediamente un raddoppio dei consumi ogni dieci anni, corrispondente ad un incremento medio annuale del 7%. Nell'ultimo ventennio, però, gli aumenti percentuali sono diminuiti in questi paesi, a causa del costo del petrolio. Si è registrata, invece, una situazione diversa nei paesi in via di sviluppo, dove il consumo di energia elettrica è stato caratterizzato da un tasso di crescita del (10 - 15)% l'anno. Se da un lato è difficile fare previsioni accurate per il futuro, dall'altro è possibile prevedere aumenti considerevoli nei paesi in via di sviluppo, soprattutto in quelli che sono dotati di risorse primarie (idroelettriche, gas, carbone), mentre nei paesi occidentali, invece, se non saranno individuate fonti alternative, quali la fusione nucleare, è possibile che si giunga a condizioni di saturazione.

La tabella che segue fornisce i dati sulla produzione di energia elettrica (espressa in miliardi di chilowattora, TWh) nel mondo, relativi all'anno 1979 (da fonte Enel, l'Ente Nazionale per l'Energia Elettrica). Dalla essa si evince che, nell'anno 1979, venivano prodotti nel mondo circa 8 TWh di energia e che il contributo maggiore era dovuto alle centrali termoelettriche. Applicando un tasso di crescita medio del

7% annuo, deduciamo pure che, attualmente, la richiesta di energia elettrica nel mondo è di circa 32 TWh.

<b>Tipo di produzione</b>	<b>Produzione in TWh nel 1979</b>	<b>%</b>	<b>Variazione rispetto all'anno precedente</b>
Idroelettrica	1.600	20	+ 2.7%
Termoelettrica	5.751	72	+ 5.7%
Nucleare	0.630	7.9	+ 5.0%
Geotermica	0.009	0.1	---
<b>Totale</b>	<b>7.990</b>	<b>100</b>	<b>+ 5.0%</b>

I paesi più industrializzati sono, ovviamente, quelli che hanno una maggior fame di energia come dimostra la tabella seguente, che riporta i dati sulla produzione di energia elettrica e sul consumo pro capite in questi paesi.

<b>Paese</b>	<b>Consumo annuale (MWh) per abitante nel 1977</b>	<b>Produzione (TWh) nel 1979</b>
Norvegia	16.782	0.090
Canada	11.660	0.355
USA	9.371	2.360
Germania Federale	4.969	0.372
Svizzera	4.943	0.042
Australia	4.700	0.093
Gran Bretagna	4.311	0.300
Giappone	4.205	0.571
Germania Orientale	4.150	0.100
Olanda	3.889	0.066
Unione Sovietica	3.795	1.250
Francia	3.617	0.241
Sud Africa	2.950	0.089
Italia	2.583	0.181
Spagna	2.140	0.106

In Italia, l'energia elettrica prodotta è impiegata per il 55% in usi industriali e per il 30% in usi civili (domestici, commerciali, illuminazione); il 5% viene adoperata per usi vari, quali la trazione elettrica e l'agricoltura, mentre il rimanente 10% costituisce le **perdite in rete**, che rappresentano l'energia perduta per effetto Joule durante il trasporto e la distribuzione.

Nel passato, la ricerca delle fonti di energia elettrica ed il loro ordine di priorità per la relativa utilizzazione sono stati sostanzialmente condizionati dalla convenienza economica, mentre solo in rare situazioni si è data rilevanza alle difficoltà tecniche del reperimento. Per molti anni si è programmata l'utilizzazione dell'olio combustibile come se si trattasse di una fonte inesauribile, incoraggiati su questa strada dal prezzo basso e stabile su tutti i mercati. Attualmente, a seguito degli eventi che hanno portato il mondo occidentale ad una maggiore responsabilizzazione nella programmazione dell'uso delle fonti energetiche, si assiste ad una rivalutazione delle fonti perenni (idroelettrica, geotermoelettrica, eolica, solare) con forte impulso alla ricerca scientifica per una loro più spinta utilizzazione.

Nel quadro della situazione energetica divenuta critica in molti paesi del mondo, è interessante fornire alcune cifre sulle fonti tradizionali di energia accertate e sulle prospettive di utilizzazione futura. Il potenziale idroelettrico dei cinque continenti abitati è valutato in 6 miliardi di chilowattora per anno, di cui solo il 30% viene sfruttato. La maggior parte del potenziale idroelettrico non utilizzato è in Africa, America Latina ed Asia. L'Africa possiede circa un terzo del potenziale idroelettrico mondiale ed esistono in questo continente condizioni favorevoli per la produzione idroelettrica a costi molto contenuti. Pensate che, utilizzando le sole cascate di Inga sul fiume Zaire, si potrebbe produrre una quantità di energia elettrica valutata in 250 milioni di chilowattora per anno, cioè circa una volta e mezza l'attuale fabbisogno nazionale italiano. In Europa e nel Nord America, l'utilizzazione delle fonti idroelettriche è molto elevata; in Italia, si è giunti da tempo quasi al limite delle possibilità di sfruttamento. Le riserve accertate di carbone si valutano intorno ai 600 miliardi di tonnellate, mentre quelle presunte sono circa 15 volte questa cifra. Con il ritmo attuale di estrazione, le riserve dovrebbero esaurirsi in una ventina di anni.

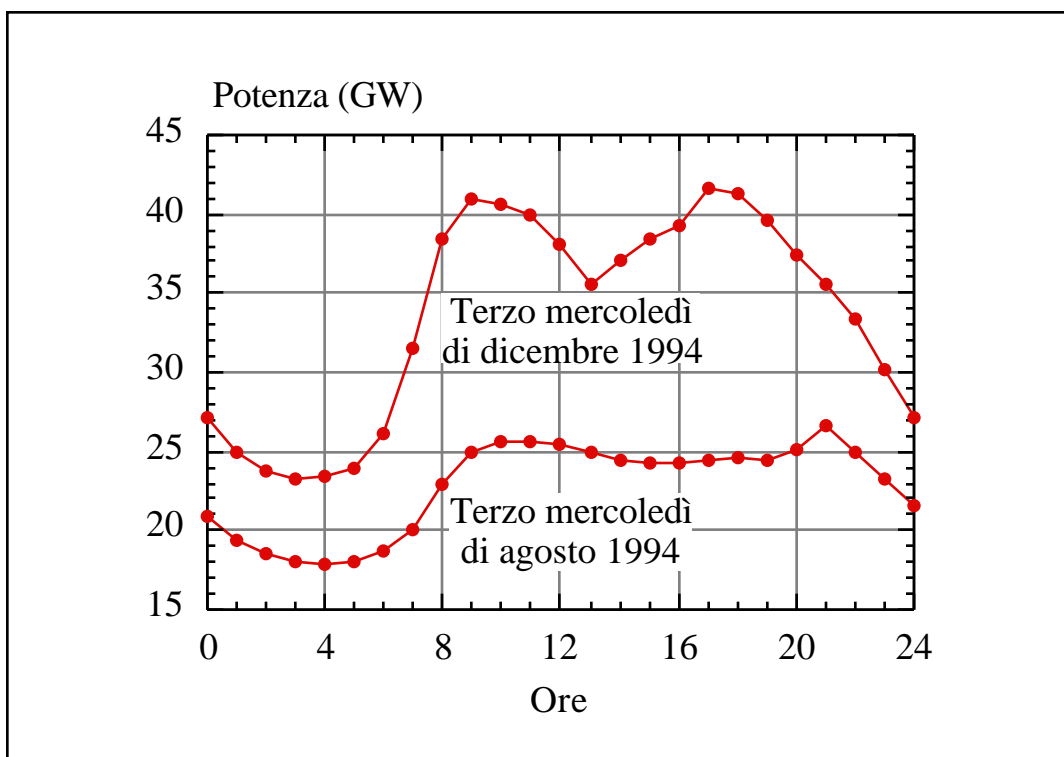
## **1.1 Considerazioni sulla produzione dell'energia elettrica**

Non tratteremo in questo testo dettagliatamente gli impianti di produzione dell'energia elettrica, rimandando chi fosse interessato ai numerosi volumi sulle centrali elettriche. Ci limiteremo a dare, in questo capitolo introduttivo, qualche cenno sull'organizzazione della produzione, mentre, nei capitoli successivi, evidenzieremo quegli aspetti delle centrali elettriche che hanno diretti riflessi sulla progettazione e sull'esercizio degli impianti di trasmissione e distribuzione.

L'energia elettrica non è purtroppo immagazzinabile in grandi quantitativi. Infatti, l'accumulo sotto forma elettrostatica nei condensatori risulta di entità modesta rispetto alle normali richieste, né si intravedono tecnologie che possano consentire l'immagazzinamento di quantitativi superiori. L'accumulo sotto forma di energia

magnetica in induttanze superconduttrici potrebbe raggiungere valori considerevoli, ma non è, al momento, praticabile, né economicamente applicabile. Segue da ciò che in ogni momento si deve generare un'energia che sia pari a quella richiesta dall'utenza, oltre a quella perduta nelle reti di trasporto e distribuzione. Piccoli squilibri sono ammessi solo per tempi dell'ordine di pochi secondi, nei quali possono essere compensati dall'energia cinetica di masse, opportunamente predisposte. Questa esigenza di continuo equilibrio tra energia generata ed energia utilizzata rende molto delicato l'esercizio dei sistemi elettrici. Il mantenimento dell'equilibrio, vitale per la continuità del servizio, è reso più difficile dal fatto che il diagramma di prelievo dell'utenza è variabile nelle 24 ore e, nello stesso giorno, varia sia settimanalmente, sia stagionalmente, e non è esattamente predeterminabile, dal momento che dipende, in parte, da eventi casuali, quali ad esempio le condizioni meteorologiche (pensate che quando il freddo è più intenso si accendono più stufe). A questi eventi casuali si aggiungono le incertezze sulla disponibilità degli impianti di generazione e trasporto dell'energia elettrica e sulle portate dei corsi d'acqua che alimentano le centrali idroelettriche.

La Figura 1.1 fornisce i diagrammi della potenza richiesta dall'intera rete italiana in un giorno lavorativo di massimo prelievo ed in un giorno del mese di agosto. La differenza tra i due è naturalmente molto evidente. Tali diagrammi vengono etichettati, nella corrente terminologia industriale non scientifica, con la denominazione di diagrammi a dromedario oppure ad 'M'.



**Figura 1.1:** potenza richiesta dalla rete italiana in due diversi giorni del 1994.

Il continuo adeguamento della produzione alla domanda si realizza dotando i motori primi delle centrali elettriche di sistemi di regolazione della potenza generata rapidi e sensibili, e disponendo di una riserva di potenza pronta, detta 'riserva rotante', sufficiente a compensare in ogni momento i possibili squilibri entro pochi secondi dal momento in cui essi si manifestano.

Il complesso delle centrali di un moderno sistema elettrico notevolmente articolato come quello italiano, comprende impianti, che possono essere classificati come segue:

- » centrali idroelettriche
- » centrali termoelettriche
- » centrali termonucleari;
- » centrali geotermoelettriche;
- » centrali con turbine a gas;
- » centrali di pompaggio.

Il contributo alla produzione di energia dei diversi tipi di centrali del sistema italiano è riassunto in tabella relativamente all'anno 1979, quando si produceva ancora un po' di energia nucleare.

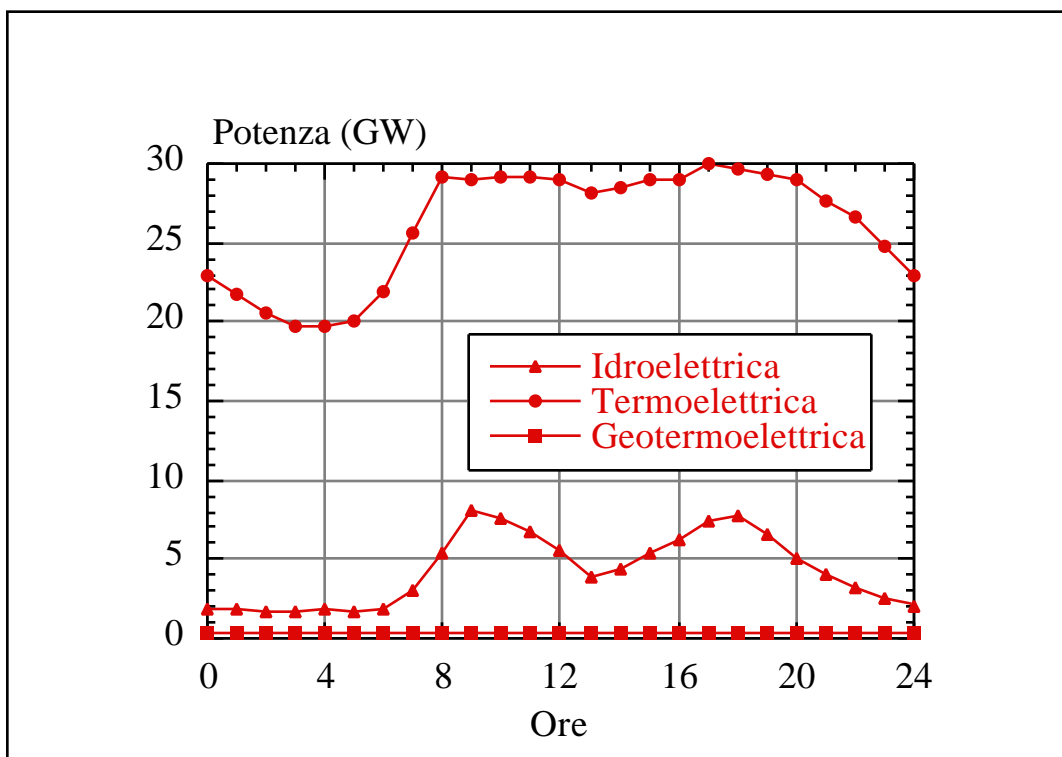
<b>Tipo di produzione</b>	<b>Produzione in TWh</b>	<b>Percentuale</b>
<b>Idroelettrica</b>	48.21	26.6
<b>Termoelettrica</b>	127.92	70.5
<b>Geotermoelettrica</b>	2.50	1.4
<b>Nucleare</b>	2.63	1.5
<b>Totale</b>	181.26	100

Va peraltro notato che vi sono grandi differenze da paese a paese. Non pochi sono i paesi ove la produzione è totalmente idroelettrica o totalmente termoelettrica. L'incidenza della produzione nucleare nei paesi più industrializzati è pure molto varia ed in Europa ha raggiunto quote importanti in Belgio, in Francia ed in Svezia. I gruppi generatori termoelettrici, essendo caratterizzati da tempi di avviamento piuttosto lunghi, sono adatti al **servizio di base**: ciò vuol dire che essi funzionano a potenza costante, possibilmente a carico nominale, cioè nella condizione di più elevato rendimento, o con modeste variazioni ( $\pm 5\%$ ) intorno alla potenza nominale. Uno scostamento significativo rispetto a tali regimi di funzionamento si traduce in un abbassamento del rendimento davvero considerevole. La disponibilità media dei gruppi termoelettrici a nafta ed a gas supera le 7000 ore all'anno. I gruppi a carbone hanno una disponibilità inferiore per le maggiori esigenze di manutenzione: si scende a 5500 - 6000 ore all'anno nelle centrali a lignite.

Anche le centrali nucleari sono adatte per un funzionamento a carico costante e pari a quello nominale. Ciò è richiesto sia da esigenze tecniche, sia da esigenze economiche, perché per esse sono molto elevati gli oneri di ammortamento e più limitate le spese di combustibile. Statistiche di esercizio recenti indicano che i grandi gruppi nucleari possono raggiungere una disponibilità di 7000 ore all'anno. Le centrali idroelettriche ad acqua fluente erogano una potenza che dipende dalla portata d'acqua e dal salto disponibile: la potenza erogata da queste centrali si può ritenere costante nell'arco di una giornata.

Per il **servizio di punta**, cioè per coprire le punte di carico giornaliera e far fronte agli imprevedibili scostamenti della domanda di potenza rispetto alla stima, si sfruttano le centrali idroelettriche dotate di bacino o serbatoio. Per la regolazione giornaliera e settimanale sono impiegate anche le centrali di pompaggio.

Un mezzo complementare per la copertura delle punte di carico sono i gruppi turbogas. Essi sono caratterizzati da bassi costi specifici di primo impianto, ma da alti costi di combustibile (rendimento globale dal 20% al 30%) ed elevati oneri di manutenzione. Convienne pertanto utilizzare le centrali turbogas solo per servizio di punta o di emergenza (indisponibilità temporanea di altre centrali) e per non più di 1000 ore all'anno.



**Figura 1.2:** tipica copertura del carico (dati relativi al 21 dicembre 1994).

La Figura 1.2 mostra come l'Enel provveda alla copertura del carico in una tipica giornata lavorativa invernale, usando centrali ad acqua fluente, centrali termoelettriche convenzionali e centrali geotermoelettriche. La produzione di

energia termoelettrica, come si è detto, raggiunge la sua massima convenienza se avviene a potenza costante nel tempo; la figura mostra, invece, un andamento non costante durante la giornata: ciò viene creato ad arte per essere il più vicino possibile alla richiesta dell'utenza e si ottiene arrestando alcuni gruppi di generazione durante le ore notturne. Gli arresti ed i frequenti riavviamenti, tuttavia, comportano grandi usure dei macchinari (turbine e caldaie) e spreco di combustibile.

## **1.2 Scelte fondamentali per la trasmissione e la distribuzione**

Accenniamo, ora, alle ragioni ed alle circostanze principali che, in passato, hanno portato a far prevalere la corrente alternata nel funzionamento delle reti di distribuzioni dell'energia elettrica.

Inquadriamo innanzitutto l'epoca: siamo negli ultimi decenni dell'Ottocento e dobbiamo immaginare che soltanto da pochi anni i fenomeni fondamentali dell'Elettromagnetismo sono stati scoperti, insieme con le grandi leggi della Fisica che li governano (ad opera di scienziati della levatura di Volta, Oersted, Faraday, Maxwell ed altri). Le prime applicazioni di questa 'nuova' branca della Fisica cominciano a diffondersi: basta pensare al telegrafo, ai primi generatori elettromeccanici (le cosiddette 'dinamo' di Pacinotti e di Siemens), ai primi motori elettrici, alle prime lampade per l'illuminazione, e così via.

Questi primi dispositivi funzionano in 'corrente continua' (e cioè in regime 'stazionario'). Cominciano a fare la loro comparsa i primi 'generatori elettromeccanici tempo varianti' che presentano ai loro morsetti una d.d.p. variabile sinusoidalmente nel tempo (sono i cosiddetti alternatori), e che, specialmente all'inizio, non sembrano offrire opportunità migliori rispetto a quelle offerte dalle 'dinamo', né dal punto di vista tecnico, né da quello economico.

Poi, all'improvviso, intorno agli anni '80, compare un dispositivo nuovo, il cosiddetto 'generatore secondario', ad opera di due 'praticoni' (uno, francese, di nome Gaulard, e l'altro, inglese, Gibbs), che permette di fare, operando in 'corrente alternata' (e cioè in regime sinusoidale), una cosa molto importante che in 'continua' non può essere fatta in alcun modo. Si tratta, in ultima analisi, di riuscire a cambiare a piacimento (almeno entro certi limiti) il valore della tensione prodotta ai morsetti di un generatore, sia innalzandola che abbassandola. Da ciò discende il nome di generatore secondario, poiché il dispositivo opera, dal punto di vista logico, come se fosse un secondo generatore funzionante 'in cascata' ad un generatore 'primario'.

Il dispositivo offre certamente opportunità, specie in termini di flessibilità di funzionamento, che sono di grande interesse tecnico ed economico, anche se, occorre riconoscerlo apertamente, neppure gli stessi inventori ne avevano capito

fino in fondo il funzionamento. Al punto che, specie all'inizio, si 'sospetta' che il generatore secondario sia in grado di erogare una potenza elettrica addirittura maggiore della potenza elettrica assorbita! A chiarire questo aspetto fondamentale della questione, rimettendo le cose al loro giusto posto nel contesto del teorema generale di conservazione delle potenze elettriche, è il nostro grande Galileo Ferraris, professore di Elettrotecnica a Torino, che, in un lavoro scientifico esemplare sia sotto il profilo della 'pulizia' logica che sotto quello della abilità e precisione sperimentale, spiega in maniera del tutto soddisfacente il funzionamento del 'nuovo' dispositivo e ne indica anche in maniera limpida e originale i criteri-guida per progettarglielo e costruirlo 'a regola d'arte'.

Le enormi possibilità offerte dal nuovo dispositivo (che ormai è indicato come **trasformatore**, e non più generatore secondario) si delineano rapidamente, in particolar modo nei confronti della possibilità di riuscire ad innalzare la tensione delle linee che conducono l'energia elettrica, con l'intento di contenere la corrente circolante su di esse al fine di ridurre i costi di realizzazione.

Nasce, così, di qua e di là dell'Atlantico, una grande disputa fra le aziende che, all'epoca, dominavano l'allora nascente mercato elettrico, come la Westinghouse, la General Electric, la Siemens e poche altre, circa l'opportunità di prevedere per il futuro lo sviluppo dell'energia elettrica nel quadro di una generale distribuzione della stessa in regime stazionario, oppure in regime sinusoidale. A favore dell'alternata, oltre alla possibilità di impiego del trasformatore, ci sono anche altre opportunità alle quali faremo cenno fra un attimo. Per contro, a vantaggio della 'continua' non va sottovalutata la facilità di risoluzione delle reti in regime stazionario che, in ultima analisi, si traduce in semplicità di progettazione e quindi anche di realizzazione. Non dimentichiamo, infatti, che la risoluzione di una rete in condizioni variabili nel tempo richiede quegli strumenti matematici, le equazioni differenziali, che, all'epoca di cui stiamo parlando, non potevano essere considerate patrimonio comune dei tecnici che progettavano e realizzavano apparati elettrici.

La disputa ebbe toni accesi e durò più di un decennio, con alti e bassi da una parte e dall'altra. Come sempre accade in casi simili, alla fine la scelta non fu presa in un solo, ben preciso momento, né per una sola e determinata ragione: avvenne, invece, gradualmente e per l'effetto concomitante di molte cause. Molto influirono certamente due fatti, che videro la luce grosso modo contemporaneamente: l'intuizione avuta dal giovanissimo ingegnere tedesco Brown circa la possibilità di distribuire l'energia elettrica per mezzo di una **linea trifase** (e non soltanto monofase) e l'invenzione da parte ancora del nostro Galileo Ferraris e di un 'geniaccio' euro-americano, Nikola Tesla, del cosiddetto **motore asincrono**, che letteralmente rivoluzionò le opportunità di applicazione dell'energia elettrica in campo meccanico.

A sfavore della corrente continua concorse anche il problema della manutenzione delle macchine in corrente continua, per la presenza delle spazzole e del collettore. La conclusione fu, per farla breve, che già ai primi del Novecento, il regime sinusoidale l'aveva avuta vinta, sia al di qua che al di là dell'Atlantico, e che, sia pure a malincuore, occorreva adattarsi ai problemi che nascevano dalla difficoltà di risoluzione delle reti in queste condizioni di funzionamento variabile nel tempo. E, in più, c'era ancora da scegliere la frequenza di esercizio.

### **1.3 Scelta della frequenza**

La scelta della frequenza delle grandi reti elettriche risulta da un compromesso tra contrastanti esigenze e risulta vincolante per i successivi ampliamenti della rete: si consideri, ad esempio, che, per non far percepire lo sfarfallio provocato da una luce intermittente all'occhio umano, è necessario adoperare una frequenza superiore a 10 Hz. L'unificazione ai due valori oggi prevalenti in tutto il mondo, 50 Hz e 60 Hz, è relativamente recente. Si pensi che in Italia, alla fine della seconda guerra mondiale, erano in esercizio reti a 42 Hz, 46 Hz, 48 Hz e 50 Hz. In quel periodo, alcuni paesi esercivano i loro sistemi a frequenze anche più basse (25 Hz in Francia). L'unificazione del sistema italiano fu fatta nell'immediato dopoguerra per consentire il parallelo dell'intera rete e l'interconnessione con i paesi confinanti.

Il valore della frequenza ha ripercussioni tecniche ed economiche. Per alcuni componenti del sistema elettrico valori bassi risultano più vantaggiosi, per altri vale il contrario. È ovvio che oggi la scelta tecnicamente ed economicamente più conveniente è quella del valore di rete, per poter collegare nuove linee e nuove apparecchiature senza alcun problema. Per comprendere quale tipo di ripercussione abbia il valore della frequenza sui vari componenti del sistema, consideriamo a mo' di esempio il trasformatore. Un trasformatore operante a 60 Hz, frequenza normalizzata negli Stati Uniti, pesa e costa circa il 15% di meno rispetto ad un modello equivalente a 50 Hz. Infatti, a parità di forza elettromotrice indotta, il flusso magnetico è inversamente proporzionale alla frequenza; a pari induzione di lavoro, allora, risulta inversamente proporzionale alla frequenza anche la sezione del circuito magnetico di un assegnato trasformatore: si riduce, in tal modo, il peso delle parti in ferro e, con il diametro degli avvolgimenti, anche il peso delle parti in rame.

### **1.4 Struttura tipica dei moderni sistemi elettrici**

In questo paragrafo passeremo in rassegna gli schemi fondamentali dei moderni impianti in corrente alternata (ca) ed in corrente continua (cc). Si tenga, però,

presente che la maggior parte delle applicazioni sono in corrente alternata e solo per particolari impieghi tecnologici si fa uso degli impianti in corrente continua.

Prima di esaminare, però, gli schemi fondamentali degli impianti in regime sinusoidale ed in regime stazionario, è utile definire e classificare i sistemi elettrici.

Per **impianto elettrico** le norme CEI definiscono il complesso di componenti elettrici destinato a una determinata funzione. Un **sistema elettrico**, invece, è la parte dell'impianto elettrico costituita dall'insieme di componenti elettrici aventi una determinata tensione nominale. La **rete di distribuzione** è l'impianto destinato alla distribuzione dell'energia elettrica agli impianti utilizzatori: si distinguono una rete di distribuzione pubblica ed una interna all'interno dell'impianto utilizzatore. L'**impianto utilizzatore** è costituito dai circuiti di alimentazione degli apparecchi utilizzatori e delle prese a spina, comprese le relative apparecchiature di manovra, sezionamento, interruzione, protezione, e così via. L'origine dell'impianto utilizzatore è il punto di erogazione dell'energia elettrica all'impianto utilizzatore da parte della rete di distribuzione pubblica.

È istruttivo ritrovare le definizioni date nella norma CEI 64 - 8.

» Impianto elettrico

Complesso di componenti elettrici, anche a tensioni nominali d'esercizio diverse, destinato ad una determinata funzione.

» Sistema elettrico (nel seguito chiamato anche sistema)

Parte di impianto elettrico costituita dal complesso dei componenti elettrici aventi una determinata tensione nominale d'esercizio.

» Rete di distribuzione

Impianto destinato alla distribuzione dell'energia elettrica agli impianti utilizzatori. Si distinguono una rete di distribuzione pubblica ed una rete di distribuzione interna, rispettivamente a monte ed a valle dell'origine dell'impianto utilizzatore.

» Impianto utilizzatore

Impianto costituito dai circuiti di alimentazione degli apparecchi utilizzatori e delle prese a spina, comprese le relative apparecchiature di manovra, sezionamento, interruzione, protezione, e così via.

» Origine di un impianto utilizzatore

Punto di consegna dell'energia elettrica all'impianto utilizzatore, in genere da una rete di distribuzione pubblica.

» Circuito elettrico

Parte dell'impianto utilizzatore avente unica alimentazione protetta contro le sovracorrenti dallo stesso dispositivo di protezione.

» Circuito terminale

Circuito direttamente collegato agli apparecchi utilizzatori oppure alle prese a spina.

» Circuito di distribuzione

Parte di circuito comune a più circuiti terminali.

Gli impianti elettrici sono connessi a questa rete e fanno parte del sistema elettrico generale; questi impianti devono essere compatibili con le caratteristiche intrinseche del sistema elettrico. Le più importanti sono: la tensione nominale, la tensione verso terra e lo stato del neutro.

La **tensione nominale** di un sistema elettrico è quella che lo rappresenta: nei sistemi monofase è l'ampiezza dell'unica tensione, solitamente 230 V in bassa tensione (in realtà, essa rappresenta il valore intermedio fra i valori massimo e minimo in condizioni regolari di esercizio); nei sistemi trifasi si considera come tensione nominale la tensione esistente tra due fasi qualsiasi, che tipicamente è di 400 V in bassa tensione.

Un sistema elettrico è caratterizzato, oltre che dalla tensione nominale, anche dalla **tensione nominale verso terra** o brevemente tensione verso terra, che indica il valore di tensione esistente tra uno dei conduttori elettrici e la terra. Più precisamente si intende per tensione nominale verso terra nei sistemi trifasi con neutro isolato o con neutro a terra attraverso impedenza, la tensione nominale; nei sistemi trifasi con neutro direttamente oppure efficacemente a terra, la tensione stellata corrispondente alla tensione nominale; nei sistemi monofase, oppure a corrente continua, senza punti di messa a terra, la tensione nominale; nei sistemi monofase, oppure a corrente continua, con punto di mezzo messo a terra, la metà della tensione nominale. Questo parametro è molto importante per la sicurezza degli utenti, perché la maggiore parte degli incidenti elettrici avvengono dal contatto creato dal corpo della persona fra una parte qualsiasi in tensione e la terra. Viceversa, il contatto diretto di due parti a tensioni diverse è molto meno frequente. Nei sistemi isolati da terra questa tensione non ha un valore definito.

Dello 'stato del neutro' si avrà modo di discutere diffusamente nel seguito.

Ancora una volta, si legga il seguente stralcio, preso dalla norma CEI 8 - 9.

### 3. Valori normali della tensione nominale

I valori delle tensioni, qui di seguito considerate, sono valori efficaci. I valori normali della tensione nominale sono:

230 V fra le fasi per reti trifasi a tre conduttori;

230 V fra fase e neutro e 400 V fra le fasi per reti trifasi a quattro conduttori.

Si raccomanda che, in condizioni ordinarie di esercizio della rete, la tensione al punto di consegna non differisca di oltre il 10% rispetto al valore nominale. La tensione nominale delle attuali reti a 220/380 V e 240/415 V deve evolvere verso il

valore normale di 230/400 V. Il periodo di transizione dovrebbe essere il più breve possibile e non dovrebbe superare l'anno 2003.

Come prima fase, durante questo periodo, le aziende distributrici che hanno sistemi a 220/380 V dovrebbero portare la tensione nel campo 230/400V, mentre quelle con sistemi a 240/415 V dovrebbero portare la tensione nel campo 230/400 V. Al termine di questo periodo di transizione si dovrebbe raggiungere il valore di 230/400 V con tolleranza  $\pm 10\%$ . In seguito si metterà allo studio la riduzione di questi valori di tolleranza.

Nota: il termine ultimo per il completamento della prima fase è previsto per il 1995.

La distinzione tra i vari sistemi viene fatta sulla base del valore della tensione nominale  $V_N$  che, secondo la norma CEI 64 - 8, rappresenta la tensione per cui un impianto oppure una sua parte è progettato. Nel caso della corrente alternata, la tensione nominale rappresenta, ovviamente, un valore efficace di tensione, mentre per i sistemi trifasi essa è da intendersi come il valore della tensione concatenata.

In funzione, dunque, della tensione nominale i sistemi elettrici si classificano nelle seguenti categorie:

» sistemi di categoria zero

$V_N = 50$  V in ca,  $V_N = 120$  V in cc, con oscillazioni non superiori al 15%;

» sistemi di prima categoria

$50$  V  $< V_N = 1$  kV in ca,  $120$  V  $< V_N = 1.5$  kV in cc;

» sistemi di seconda categoria

$1$  kV  $< V_N = 30$  kV in ca,  $1.5$  kV  $< V_N = 30$  kV in cc;

» sistemi di terza categoria

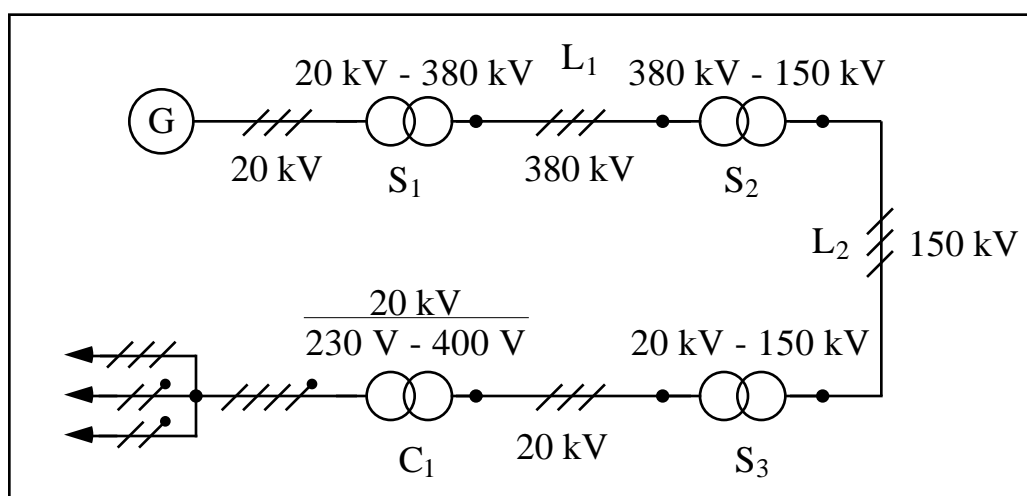
$V_N > 30$  kV in ca e in cc.

Agli effetti della classificazione del sistema si considera la tensione nominale verso terra qualora essa sia superiore alla tensione nominale fra le fasi; inoltre, i sistemi di prima categoria, collegati direttamente a terra, devono presentare una tensione verso terra non superiore a 600 V, se a corrente alternata, e a 900 V, se a corrente continua. La tensione effettiva può variare entro le abituali tolleranze; i transistori non vengono considerati. Questa classificazione non esclude la introduzione nelle diverse categorie di limiti intermedi per ragioni particolari.

Nella pratica corrente, tuttavia, si parla più semplicemente di bassa, media ed alta tensione, adoperando i seguenti criteri: bassa tensione (bt) quando  $V_N = 1$  kV (categoria zero e prima); media tensione (MT) quando  $1$  kV  $< V_N = 30$  kV (seconda categoria); alta tensione (AT) quando  $V_N > 30$  kV (terza categoria).

## • Impianti in corrente alternata

L'insieme delle macchine, apparecchiature e linee destinate alla produzione, trasformazione, trasmissione, distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica costituisce il *sistema elettrico*. Lo schema della struttura complessiva, sotto forma di schema unifilare, è riportato in Figura 1.3. Per comprendere cosa siano gli schemi unifilari, si legga l'Appendice posta alla fine di questo capitolo.



**Figura 1.3:** schema per la trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica.

Si noti che i valori di tensione apposti sono solo indicativi, ma utili per evidenziare i diversi livelli presenti. Le funzioni delle varie parti del sistema si possono classificare come qui di seguito indicato.

### Produzione dell'energia elettrica

La produzione dell'energia elettrica viene effettuata nelle centrali di produzione (G). Le centrali possono essere di vario tipo e chiamate a svolgere funzioni diverse, come abbiamo già detto. I generatori nelle centrali sono caratterizzati da valori di tensione non troppo elevati per problemi di isolamento e di ingombro.

### Trasformazione dell'energia elettrica

Per trasformazione dell'energia elettrica si intende la variazione dei livelli di tensione: in ogni punto del sistema si utilizza il livello più conveniente dal punto di vista tecnico ed economico. Tale funzione viene svolta dalle stazioni di trasformazione primarie ( $S_1$ ,  $S_2$ ), da quelle secondarie ( $S_3$ ) e dalle cabine di trasformazione ( $C_1$ ). Sia le stazioni che le cabine sono essenzialmente costituite da uno o più trasformatori. La distinzione che si opera è legata al tipo di funzione svolta, ed in particolare: le stazioni di trasformazione primarie sono impiegate per innalzare ( $S_1$ ) il livello di tensione dal livello di produzione (20 ÷ 30) kV al livello cosiddetto di trasmissione (220 ÷ 380) kV e per abbassare ( $S_2$ ) la tensione dal

livello della trasmissione a quello della subtrasmissione (definita nel seguito); le stazioni di trasformazione secondarie ( $S_3$ ) sono impiegate per abbassare il livello dalla subtrasmissione al livello di distribuzione; le cabine ( $C_1$ ) vengono utilizzate per abbassare il livello di tensione a quello di utilizzazione diretta in bassa tensione.



**Figura 1.4:** la rete di trasmissione a 220 kV ed a 380 kV della città di Napoli.

### Trasmissione dell'energia elettrica

Per trasmissione dell'energia elettrica si intende il trasporto di elevate quantità di energia a grande distanza e con elevati livelli di tensione, normalizzate a valori compresi tra 220 kV e 380 kV, mediante linee aeree o solo raramente mediante linee in cavo. Nella Figura 1.3,  $L_1$  rappresenta una linea di trasmissione. Come si può immaginare, superando lo schema che tuttavia è molto importante ai fini di una scomposizione del problema, la trasmissione è effettuata mediante una articolata rete, più o meno densamente magliata. In Figura 1.4 è riportata, ad esempio, la rete a 220 kV ed a 380 kV della città di Napoli: la sua estensione è molto vasta.

La linea  $L_2$  a 150 kV è una linea di *trasmissione secondaria o di subtrasmissione* e la si distingue dalle linee di trasmissione per i livelli di tensione in gioco, questa volta più contenuti.

### Distribuzione dell'energia elettrica

Si può avere una distribuzione in Media Tensione (MT) ed una distribuzione in bassa tensione (bt).

Le **reti di distribuzione in MT** hanno origine nelle stazioni secondarie ed alimentano le reti di distribuzione a bassa tensione, tramite numerosissime cabine di trasformazione (Mt/bt). Le tensioni di esercizio delle reti in MT sono comprese tra

6 kV e 35 kV. La configurazione di queste reti è varia, in relazione alla densità dei carichi ed alla continuità di esercizio richiesta: si passa dai semplici schemi radiali alle configurazioni magliate. Il *raggio di azione* delle reti in MT, identificabile con la lunghezza media delle linee, dipende dalla densità di carico: varia da 1 km a 3 km nelle grandi città, fino ad un massimo di (30 ÷ 40) km nelle zone rurali e montane poco popolate. Anche la potenza trasportata può variare di molto: da qualche centinaio di chilowatt a molti megawatt.

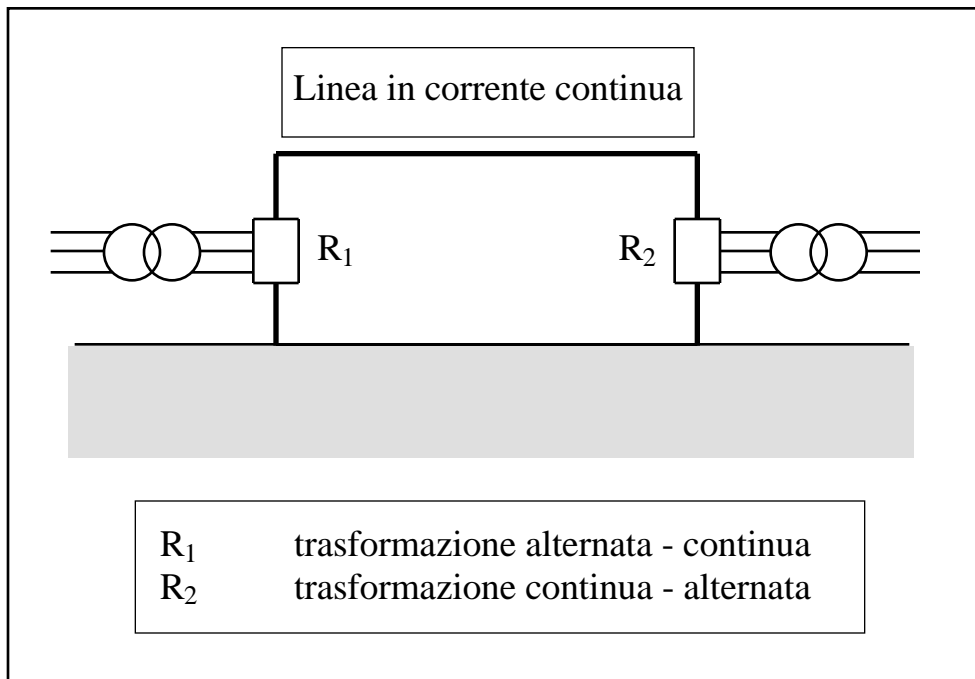
Le **reti di distribuzione in bt** rappresentano l'ultima fase della distribuzione e realizzano la consegna ai piccoli utenti. Le tensioni di esercizio sono inferiori a 1 kV. In Italia ed in molti paesi europei le tensioni sono normalizzate a (230 ÷ 400) V. Le potenze in gioco variano da un minimo di (5 ÷ 10) kVA per piccole cabine su palo, fino a 1 MVA e più. Il raggio d'azione delle reti in bt dipende dalla densità, dalle caratteristiche del carico e dalla configurazione della rete: può variare da qualche centinaio di metri per reti urbane radiali in cavo, fino ad 1 km per linee rurali a 400 V. La configurazione delle reti in bt è assai varia, in dipendenza della densità delle utenze, della qualità del servizio richiesto (continuità, costanza della tensione) e della configurazione della rete MT a monte. Si va, per esempio, da semplici schemi radiali fino alle complesse reti magliate dei centri urbani.

#### • **Impianti in corrente continua**

Le particolari applicazioni in cui trovano impiego i sistemi elettrici in corrente continua sono, essenzialmente, costituite dalle linee di trasmissione sottomarine e dai sistemi di trazione elettrica.

I cavi sottomarini vengono adoperati per trasferire l'energia elettrica dalla terraferma verso le isole. Questo collegamento, detto HVDC deriva dall'acronimo anglosassone *High Voltage Direct Current*, viene realizzato in corrente continua perché, se la lunghezza del cavo, come spesso avviene, supera la decina di chilometri, il collegamento in corrente alternata comporterebbe elevate correnti disperse nel dielettrico in cui sono immersi i conduttori. Si utilizzano, di norma, cavi bipolari oppure unipolari, sfruttando come conduttore di ritorno il mare stesso ed un tipico schema è mostrato in Figura 1.5.

Come si intuisce dalla figura, sono presenti due stazioni di trasformazione: una che trasforma la corrente alternata in corrente continua, in gergo detta stazione ca/cc, l'altra che realizza la trasformazione inversa da corrente continua a corrente alternata. Esistono molti collegamenti di questo tipo: il più importante, in Italia, è il collegamento Toscana-Corsica-Sardegna che utilizza una linea unipolare a 200 kV; in Europa, il collegamento tra la Francia e l'Inghilterra utilizza un cavo unipolare a 500 kV.



**Figura 1.5:** collegamento HVDC.

Un'altra importante applicazione della corrente continua la si trova nella **trazione elettrica** (treni, metropolitane, tram e filobus). Nella trazione ferroviaria e tranviaria si utilizzano linee aeree unipolari, sfruttando il terreno come conduttore di ritorno; nella trazione urbana su gomma (filobus) la linea aerea è bipolare. Per tutte le applicazioni, comunque, si richiede che, ad opportuni intervalli lungo la linea, siano collocate stazioni di conversione alternata-continua che forniscono la potenza necessaria. Per la trazione ferroviaria italiana, le ferrovie usano un'alimentazione a 3 kV e le linee dispongono di stazioni di conversione ogni 20 km, collegate alla rete elettrica nazionale in corrente alternata.

La corrente continua consente di utilizzare motori in continua, eccitati in serie, che, in passato, erano i più idonei alla trazione in quanto presentavano elevate coppie di spunto ed un campo di regolazione della velocità molto ampio. Al giorno d'oggi, anche usando un'alimentazione in corrente continua, si preferisce ricorrere a motori in corrente alternata, sincroni oppure asincroni, alimentati per mezzo di *inverter* che, posti a bordo dei locomotori, convertono efficientemente la potenza continua in alternata. L'attuale tendenza, soprattutto per i treni ad alta velocità, è quella di utilizzare linee in corrente alternata monofase a tensioni molto elevate. I treni ad alta velocità adottati in Francia (TGV) sono alimentati a 26 kV in corrente alternata; la tensione viene ridotta, a bordo del locomotore, tramite trasformatori, a valle dei quali sono posti dei convertitori statici che raddrizzano la corrente ed alimentano gli inverter, posti a monte dei motori, sincroni oppure asincroni che siano.

## 1.5 Materiali elettrici

I materiali utilizzati negli impianti elettrici vengono classificati secondo le loro caratteristiche e proprietà elettriche, in materiali conduttori ed isolanti.

I **materiali conduttori** sono quelli che consentono il flusso di una corrente elettrica ed hanno valori di resistività elettrica e coefficiente di rigidità dielettrica molto bassi. Tipicamente i metalli godono di queste proprietà, per cui sono considerati i migliori conduttori. La tabella seguente contiene un elenco dei conduttori più utilizzati e i loro rispettivi valori di resistività

Conduttore	Purezza (%)	Resistività ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )
Rame	99.95	0.0171
Alluminio	99.995	0.02655
Argento	99.9	0.016
Oro	99.99	0.023
Platino	99.99	0.106
Ferro	99.9	0.13
Nichel cromo		1.06
Piombo	99.9	0.2
Tungsteno		0.055

I **materiali isolanti** sono quelli che impediscono lo scambio di energia elettrica tra conduttori e sono, pertanto, caratterizzati da elevati valori di resistività e rigidità dielettrica. Gli isolanti possono dividersi in isolanti gassosi, liquidi e solidi.

### » Isolanti Gassosi

In un interno gassoso, è molto difficile che avvenga una scarica elettrica perché i gas hanno una rigidità dielettrica molto elevata. Pertanto, i gas costituiscono buoni isolanti e nella tabella che segue sono riportate alcune caratteristiche dei gas più comuni alla pressione di una atmosfera e temperatura ambiente (25 °C).

Gas	Densità relativa dell'aria	Rigidità dielettrica (kV/m)
Anidride carbonica	1.53	2900
Aria	1.00	3200
Azoto	1.10	2900
Idrogeno	0.07	1900

### » Isolanti Liquidi

Gli isolanti liquidi più utilizzati sono oli minerali, apiroli, oli ai siliconi e vernici. Queste ultime vengono utilizzate soltanto come protettivi anticorrosione dei materiali. Gli oli minerali trovano largo impiego come dielettrici nei trasformatori, nei condensatori, negli interruttori e nei cavi in carta impregnata.

#### » Isolanti Solidi

Gli isolanti solidi hanno una resistività molto elevata e sono largamente utilizzati nei sistemi elettrici. Nella tabella che segue sono elencati alcuni dei più comuni isolanti solidi con i rispettivi valori di resistività e rigidità dielettrica.

<b>Materiale isolante</b>	<b>Resistività ( <math>\Omega \cdot m</math> )</b>	<b>Rigidità dielettrica (kV/mm)</b>
Gomma naturale	$10^{14}$	21.0
Silicone	$10^{13}$	20
Carta	$10^{12}$	8
Fibra di vetro	$10^{16}$	50
Legno impregnato	$10^{15}$	30
Mica	$10^{17}$	150
Porcellane triassiali	$10^{12}$	15.76 (spessore 6.5 mm)

Una caratteristica molto importante degli isolanti solidi, oltre alla loro elevatissima resistività, è quella di sopportare elevate temperature, tanto che le norme CEI stabiliscono sette classi di isolanti in funzione della temperatura massima sopportata senza variazioni apprezzabili della loro struttura e funzionalità.

## 1.6 Gli impianti elettrici e le norme

Chiunque si occupi di impianti elettrici, quale che sia il suo specifico settore di interesse (produzione, trasmissione o distribuzione), è obbligato ad applicare quanto previsto dalle norme. Per *normalizzazione* si intende l'insieme dei criteri generali in base ai quali devono essere progettate, costruite e collaudate le macchine, le apparecchiature, i materiali elettrici, per garantirne l'efficienza e la sicurezza di funzionamento.

Tutti i maggiori paesi industrializzati del mondo hanno Enti Normatori agenti a livello nazionale. In Italia, tale ruolo è oggi svolto dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), fondato nel 1900 dall'Associazione Elettrotecnica Italiana (AEI) e rifondato dopo la seconda guerra mondiale su iniziativa di alcuni soci, tra cui figurano la stessa AEI, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e l'Enel. Il CNR, cui compete la compilazione di norme per l'accettazione, il collaudo, l'unificazione e la protezione di macchinari, impianti e materiali, ha delegato il CEI ad espletare queste funzioni nel campo elettrotecnico e nel campo elettronico.

Rientrano, pertanto, nei compiti del CEI la definizione dei requisiti che devono possedere i materiali, le macchine, le apparecchiature e gli impianti per essere conformi alle relative norme, l'elaborazione dei criteri di controllo di tali requisiti, la partecipazione all'attività normativa internazionale, la compilazione di nuove norme e l'aggiornamento di quelle in vigore.

Le norme emanate dal CEI sono classificate in base al *Comitato Tecnico* (C.T.) compilatore ed indicate da un numero distintivo e dall'anno di edizione. Per esempio, le norme CEI 64 - 8 (1992) sono state formulate dal Comitato Tecnico 64 (che si occupa degli impianti elettrici utilizzatori) nel 1992. Un elenco dei diversi comitati tecnici del CEI è riportato di seguito.

0 - Applicazione delle norme e testi di carattere generale

1 / 24 / 25 - Terminologia, grandezze unità

2 - Macchine rotanti

3 - Documentazione e segni grafici

4 - Motori primi idraulici

5 - Turbine a vapore

7 - Materiali conduttori

8 / 28 - Tensioni, correnti a frequenze normali / Coordinamento degli isolamenti

9 - Trazione

10 - Oli

11 - Impianti elettrici di alta tensione e distribuzione pubblica a bassa tensione

12 - Radiocomunicazioni

13 - Apparecchiatura per la misura dell'energia elettrica e per il controllo del carico

14 - Trasformatori

15 / 63 / 98 - Materiali isolanti / Sistemi di isolamento

16 - Contrassegni dei terminali e altre indicazioni

17 - Grossa apparecchiatura

18 - Impianti elettrici di navi e unità fisse e mobili fuori costa (off-shore)

20 - Cavi per energia

21 / 35 - Accumulatori e pile

22 - Elettronica di potenza

23 - Apparecchiature a bassa tensione

26 - Macchine ed apparecchiature per saldatura elettrica

27 - Elettrotermia

29 - Elettroacustica

31 - Materiali antideflagranti

32 - Fusibili

33 - Condensatori

34 - Lampade e relative apparecchiature

36 - Isolatori  
37 - Scaricatori  
38 - Trasformatori di misura  
40 - Condensatori e resistori per apparecchiature elettroniche  
41 / 94 / 95 - Relè  
42 - Tecnica delle prove ad alta tensione  
44 - Equipaggiamento elettrico delle macchine industriali  
45 - Strumentazione nucleare  
46 - Cavi simmetrici e coassiali, cordoni, fili, guide d'onda e connettori per radiofrequenza  
47 - Dispositivi a semiconduttore e microcircuiti integrati  
48 - Componenti elettromeccanici per apparecchiature elettroniche  
50 - Prove climatiche e meccaniche  
52 - Circuiti stampati  
55 - Conduttori per avvolgimenti  
56 - Fidatezza  
57 - Telecomunicazioni associate ai sistemi elettrici di potenza  
62 - Apparecchiature elettriche per uso medico  
64 - Impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione (fino a 1000 V in ca e fino a 1500 V in cc)  
65 - Controllo e misura dei processi industriali  
66 - Sicurezza degli strumenti di misura, controllo e da laboratorio  
68 / 105 - Leghe ed acciai magnetici  
69 - Macchine elettriche dei veicoli stradali elettrici  
70 - Involucri di protezione  
74 - Macchine d'ufficio e per l'elaborazione dei dati  
75 - Classificazioni delle condizioni ambientali  
76 - Apparecchiature laser  
79 - Sistemi di rilevamento e segnalazione per incendio, intrusione, furto, sabotaggio ed aggressione  
80 - Strumenti per la navigazione  
81 - Protezione contro i fulmini  
82 - Sistemi di conversione fotovoltaica dell'energia solare  
83 - Interconnessione degli apparati per le tecniche informatiche  
84 / 60 - Tecniche audio e video / Registrazione  
85 - Strumenti di misura delle grandezze elettromagnetiche  
86 - Fibre ottiche  
88 - Sistemi di generazione a turbina eolica  
89 - Prove relative ai rischi da fuoco  
90 - Superconduttività  
92 - Sicurezza di apparecchi elettrici, audio, video e similari  
96 - Trasformatori di sicurezza e isolamento  
103 - Reti e apparati per servizi di telecomunicazione

- 110 / 77 - Compatibilità elettromagnetica
- 111 - Esposizione umana ai campi elettrici
- 114 - Sistemi elettrotecnici per i trasporti di superficie
- 116 - Rivelatori di gas

In altri paesi agiscono organizzazioni analoghe: VDE in Germania, BS in Gran Bretagna, NF per la Francia e così via. L'intensificarsi degli scambi commerciali internazionali, con prodotti destinati a mercati sempre più ampi, ha fatto nascere l'esigenza di norme internazionali, accettate nell'ambito di tutti i paesi membri. In particolare, vi è la *International Electrotechnical Commission* (IEC), che raggruppa 64 paesi membri, tra i quali troviamo la totalità dei paesi industrializzati. L'IEC emette delle *raccomandazioni*, sulla base delle quali i paesi membri adeguano le proprie normative. Le raccomandazioni non hanno carattere di obbligatorietà.

L'*European Committee for Electrotechnical Standardization* (CENELEC) è l'organismo responsabile in ambito europeo per l'armonizzazione, che consiste nell'emanazione di tutte quelle prescrizioni atte a rendere compatibili le norme dei vari paesi. I documenti di armonizzazione sono siglati 'HD' ed ai contenuti tecnici di questi si devono uniformare i documenti dei paesi membri. Il CENELEC non si limita al compito di armonizzazione: esso è anche ente normatore e le norme emesse, siglate EN, devono essere *obbligatoriamente* recepite, nella loro integralità, dai paesi membri.



**Figura 1.6:** marchi CEI ed IMQ.

Il problema della *conformità* alle norme di quanto prodotto, installato ed utilizzato, è duplice a seconda che si faccia riferimento a singoli componenti, cioè il materiale elettrico, oppure all'intero impianto. La rispondenza alle norme del materiale elettrico è dichiarata in Italia nella certificazione di conformità, mediante appositi marchi sulle apparecchiature oppure attestati rilasciati da enti preposti. Il contrassegno CEI, rappresentato in Figura 1.6, è una certificazione che il costruttore applica ai prodotti che, a suo parere, hanno caratteristiche conformi alle

norme CEI; si tratta, pertanto, di una autocertificazione, della quale il produttore si assume la responsabilità.

Il CEI ha, tuttavia, la facoltà di effettuare in qualsiasi momento la verifica di rispondenza del prodotto. L'uso del marchio dell'Istituto Italiano del Marchio di Qualità (IMQ), sempre in Figura 1.6, che è utilizzato dai produttori di componenti elettrici di grande diffusione, segue una procedura più complessa: il marchio IMQ viene apposto solo dopo aver effettuato verifiche sui prototipi e dopo controlli della produzione.

Nella realizzazione degli impianti, utilizzare componenti rispondenti alle norme non assicura naturalmente che l'impianto nel suo complesso lo sia: si pensi al caso di interruttori a norma, collegati scorrettamente. Purtroppo, in Italia non esiste un unico organismo deputato a verificare gli impianti, né generalmente tale verifica è richiesta. Fortunatamente l'entrata in vigore della Legge 46 nel 1990 ha introdotto interessanti novità nel settore degli impianti, soprattutto a garanzia della sicurezza.

Come si è già avuto modo di sottolineare, la verifica non è generalmente richiesta, ma in taluni casi è obbligatoria. Per alcuni impianti particolari vi sono organismi di controllo e verifica nazionali o locali. Per esempio, per gli impianti di sollevamento industriali l'ente competente è l'Ispettorato del Lavoro; la verifica periodica di ascensori ed impianti di terra è svolta dalle Aziende Sanitarie Locali (ASL) e dall'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro (ISPESL). Gli impianti elettrici nei locali di pubblico spettacolo devono essere controllati, per poter ottenere il rilascio oppure il successivo rinnovo della licenza d'esercizio, da una apposita Commissione Provinciale di vigilanza.

## **1.7 La legislazione sugli impianti**

Le leggi che disciplinano il settore elettrico sono numerose. In questo capitolo ci limiteremo a darne una panoramica, soffermandoci in particolare sull'aspetto della sicurezza nelle installazioni elettriche, ed alcune tra le leggi più significative in questo campo vengono, di seguito, passate in rapida rassegna.

### **• DPR 547 del 27 aprile 1955**

Il decreto si occupa di sicurezza, in generale, contenendo norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro, ed il titolo VII, in particolare, è interamente dedicato al settore elettrico. Eccone qualche stralcio.

Attività soggette

Articolo 1 - Le Norme del presente decreto si applicano a tutte le attività alle quali siano addetti lavoratori subordinati oppure ad essi equiparati ai sensi dell'Articolo

3, comprese quelle esercitate dallo Stato, dalle Regioni, dalle Province, dai Comuni, da altri Enti pubblici e dagli Istituti di istruzione e di beneficenza.

#### Attività escluse

Articolo 2 - Le Norme del presente decreto non si applicano, in quanto la materia è regolata o sarà regolata da appositi provvedimenti:

- a) all'esercizio delle miniere, cave e torbiere;
- b) ai servizi ed impianti gestiti dalle Ferrovie dello Stato;
- c) ai servizi ed impianti gestiti dal Ministero delle poste e delle telecomunicazioni;
- d) all'esercizio dei trasporti terrestri pubblici;
- e) all'esercizio della navigazione marittima, aerea ed interna.

#### Definizione di lavoratore subordinato

Articolo 3 - Agli effetti dell'Articolo 1, per lavoratore subordinato si intende colui che fuori del proprio domicilio presta il proprio lavoro alle dipendenze e sotto la direzione altrui, con o senza retribuzione anche al solo scopo di apprendere un mestiere, un'arte oppure una professione.

Sempre agli effetti dell'Articolo 1 sono equiparati ai lavoratori subordinati i soci di società e di enti in genere cooperativi, anche di fatto, che prestino la loro attività per conto delle società e degli enti stessi, e gli allievi degli istituti di istruzione e di laboratori-scuola nei quali si faccia uso di macchine, attrezzature, utensili ed apparecchi in genere.

#### Produzione, vendita e noleggio per il mercato interno

Articolo 7 - Sono vietate dalla data di entrata in vigore del presente decreto la costruzione, la vendita, il noleggio e la concessione in uso di macchine, di parti di macchine, di attrezzature, di utensili e di apparecchi in genere, destinati al mercato interno, nonché la installazione di impianti, che non siano rispondenti alle Norme del decreto stesso.

#### • **Legge 186 del primo marzo 1968**

Questa legge detta alcune disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni, impianti elettrici ed elettronici. È composta da due articoli, di seguito riportati.

Articolo 1 - Tutti i materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici devono essere realizzati e costruiti a regola d'arte.

Articolo 2 - I materiali, le apparecchiature, i macchinari, le installazioni e gli impianti elettrici ed elettronici realizzati secondo le Norme del Comitato Elettrotecnico Italiano si considerano costruiti a regola d'arte.

• **Legge 791 del 18 ottobre 1977**

Attua la Direttiva del Consiglio delle Comunità Europee (72/73/CEE) relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico funzionante a tensione compresa tra 50 V e 1000 V in alternata e tra 75 V e 1500 V in continua.

• **Legge 46 del 5 marzo 1990**

Si applica oltre che ai vari impianti tecnologici (riscaldamento, idrosanitari, radiotelevisivi, elettronici e così via), agli impianti elettrici posti all'interno degli edifici, a partire dal punto di consegna dell'ente distributore, agli immobili adibiti ad uso civile, ad attività produttive, al commercio, al terziario, ad altri usi. Impone che l'installazione, la trasformazione, l'ampliamento e la manutenzione di tali impianti vengano effettuati da imprese iscritte nell'albo provinciale delle imprese artigiane e che siano in possesso di determinati requisiti tecnici e professionali che devono essere accertati e riconosciuti secondo precise modalità. L'entrata in vigore della legge ed il relativo regolamento di attuazione hanno reso obbligatorio (prima non lo era) il progetto degli impianti elettrici per alcune tipologie di impianti, qualora vengano superati determinati limiti dimensionali, di potenza o di tensione di alimentazione. Inoltre, questa legge stabilisce il rilascio, alla fine dei lavori, di una 'dichiarazione di conformità'. Ecco qualche stralcio dell'articolo 7.

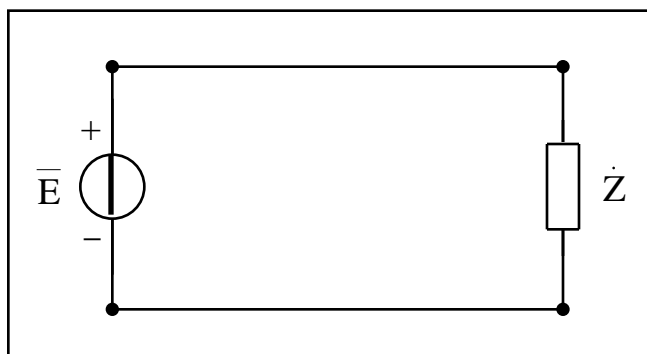
1. Le imprese installatrici sono tenute ad eseguire gli impianti a regola d'arte utilizzando allo scopo materiali parimenti costruiti a regola d'arte. I materiali ed i componenti realizzati secondo le norme tecniche di sicurezza dell'Ente Italiano di Unificazione (UNI) e del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), nonché nel rispetto di quanto prescritto dalla legislazione tecnica vigente in materia, si considerano costruiti a regola d'arte.

2. In particolare, gli impianti elettrici devono essere dotati di impianti di messa a terra e di interruttori differenziali ad alta sensibilità o di altri sistemi di protezione equivalenti.

3. Tutti gli impianti realizzati alla data di entrata in vigore della presente legge devono essere adeguati, entro tre anni da tale data, a quanto previsto dal presente articolo.

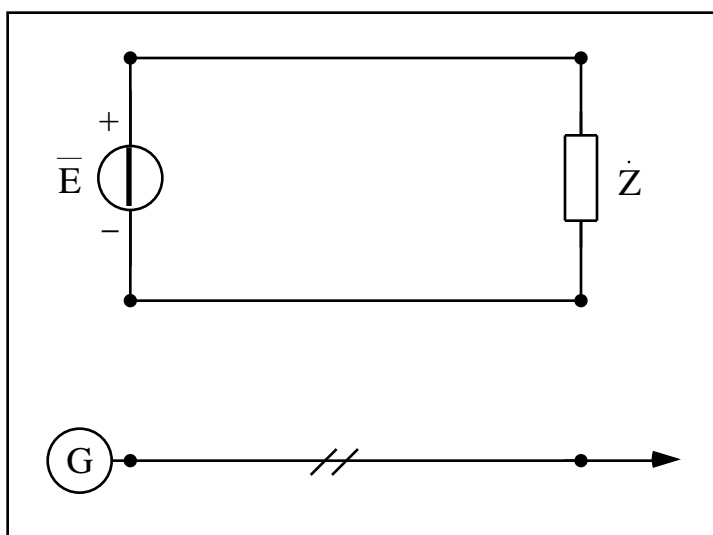
## Appendice: schemi unifilari

Sin da quando, nel corso di Elettrotecnica, avete imparato a ‘maneggiare’ i circuiti, siete stati abituati a rappresentarli come mostrato in Figura A.1. In essa vediamo un generatore, ad esempio sinusoidale,  $\bar{E}$  collegato alla generica impedenza  $\dot{Z}$  di carico.



**Figura A.1:** generico circuito.

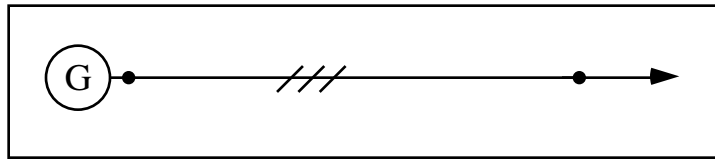
Ora, gli impianti elettrici sono dei circuiti di dimensione molto grande, costituiti da moltissimi generatori, carichi e tante interconnessioni tra essi, per cui è impensabile rappresentarli come fatto finora. Per questo motivo si preferisce usare i cosiddetti schemi unifilari, in cui il circuito viene rappresentato da un singolo filo con due piccoli tratti obliqui (che rendono certi che stiamo lavorando con due fili) ed il carico, quale esso sia, è indicato per mezzo di una freccia, come suggerito dalla Figura A.2. Il generatore è stato indicato con una ‘G’ e, qualche volta, si aggiunge anche un’altra indicazione per specificare che si tratta di regime sinusoidale.



**Figura A.2:** schema unifilare monofase.

Questa rappresentazione mostra tutta la sua forza ed efficacia quando si ha a che fare con circuiti trifasi per i quali basta aggiungere sul filo tre piccoli segni obliqui

che ci informano che stiamo lavorando con una rete trifase. In questo caso ‘G’ rappresenta un generico generatore trifase e la freccia finale rappresenta un carico anch’esso trifase, come può essere, per esempio, un motore.



**Figura A.3:** schema unifilare trifase.

Come potete constatare, si tratta di una rappresentazione semplice e schematica che aiuta non poco nel disegno dei circuiti di grandi dimensioni. Quando sono presenti quattro segni obliqui, uno dei quali con un pallino superiore, vuol dire che si sta considerando un sistema trifase dotato di filo di neutro.

Infine, un singolo conduttore viene indicato con un semplice filo senza tratti obliqui.