

ELEMENTI DI IMPIANTI ELETTRICI

LE CENTRALI DI PRODUZIONE

È evidente l'importanza che assume agli effetti dello sviluppo della vita civile ed industriale di una regione la disponibilità di energia in una forma facilmente trasformabile in calore, in lavoro meccanico, in energia chimica, in luce o in altre richieste utilizzazioni. Allo stato attuale la forma di energia che meglio si presta alle esigenze suddette è l'energia elettrica per la sua facilità di trasformazione, per la possibilità di trasmissione a lunghe distanze, per la sua facile divisibilità, per il ridotto e controllabile impatto ambientale, per la sua affidabilità e per la semplicità di accumulo. Pertanto, la maggior parte delle energie economicamente utilizzabili vengono trasformate in energia elettrica o immediatamente alla sorgente o dopo un trasporto nella loro forma originale, verso i centri di utilizzazione. Le centrali si classificano in base all'energia primaria utilizzata; le forme di energia primaria oggi economicamente utilizzabili sono:

- *Energia idraulica.* Nella maggior parte conseguente a salti di grandi portate d'acqua fluente o accumulata in serbatoi (o bacini); eccezionalmente derivante da spostamenti di grandi masse d'acqua per effetto delle maree. In entrambi i casi la conversione in energia elettrica deve avvenire nelle vicinanze delle sorgenti di energia. Nelle centrali ad acqua fluente si sfruttano grandi portate d'acqua con piccoli valori di salto geodetico. Si utilizzano particolari turbine idrauliche (Francis e Kaplan), che funzionano meglio a basse velocità. Ne consegue che gli alternatori accoppiati hanno un elevato numero di coppie polari (generalmente 8 o 16). Le centrali a serbatoio utilizzano invece l'energia potenziale di masse d'acqua immagazzinata in opportuni bacini (naturali o artificiali); di solito funzionano con piccole portate e con elevati salti geodesici. Di regola si utilizza come turbina idraulica una turbina Pelton, che funziona meglio ad alte velocità. Ne consegue che gli alternatori accoppiati hanno un piccolo numero di coppie polari (generalmente 2, 3 o 4). La presenza del bacino consente a queste centrali di erogare energia nei periodi di tempo più opportuni. Inoltre la turbina Pelton si presta meglio di quelle termiche a rapide e continue variazioni di carico. Si noti che tutte le centrali idroelettriche, benché in parte dipendenti dagli eventi meteorologici, non danno luogo a costi per il "combustibile". Il costo di impianto delle centrali nuove è tuttavia crescente a causa dell'esaurimento dei siti facilmente sfruttabili.
- *Energia termica.* Eccezionalmente di natura geotermica (soffioni boraciferi), nel qual caso è indispensabile la conversione presso la sorgente; generalmente ottenuta con la combustione di combustibili fossili solidi, liquidi o gassosi (carbone, petrolio, nafta, metano, gas naturale) sia nei pressi delle sorgenti, sia vicino ai centri di utilizzazione. In fase contrastata di impiego è la produzione di energia termica derivante dall'utilizzo della fissione nucleare, energia di costo molto variabile. Il calore sviluppato dal combustibile viene in ogni caso sfruttato mediante turbine a vapore o turbine a gas, che funzionano da motore nei riguardi degli alternatori. Le turbine termiche funzionano meglio ad alte velocità, per cui i turboalternatori hanno un numero molto ridotto di coppie polari (1 o 2). Per la loro grande inerzia termica, occorrono alcune ore per la loro messa in marcia. A differenza delle centrali idroelettriche, le centrali termoelettriche presentano il vantaggio di un regime di produzione indipendente da fattori stagionali, adattandosi flessibilmente alle esigenze del consumo. Tuttavia, per tutte le centrali termiche, con l'eccezione di quelle geotermiche, occorre tenere conto che, oltre al costo di costruzione, vi è un costo di esercizio dovuto al consumo di combustibile. Inoltre, è bene ricordare che questo tipo di centrale è caratterizzato da un notevole impatto ambientale: all'immissione in atmosfera dei prodotti della combustione e allo smaltimento delle scorie (ceneri, bitumi, ecc.) in discarica, si aggiunge l'inquinamento termico provocato dalle acque di scarico degli scambiatori di calore.
- *Energia eolica.* Utilizzata per la produzione di modeste quantità di energia elettrica in zone battute dai venti per la maggior parte dell'anno, lontano da altre centrali elettriche: è evidente

l'aleatorietà di questo tipo di produzione, che però rappresenta attualmente la più importante e promettente fonte alternativa a quelle convenzionali.

- *Energia solare.* Per mezzo della conversione fotovoltaica (a resa media annuale di circa 60 W per metro quadrato impegnato), consente limitate produzioni di energia elettrica (in corrente continua) utilizzabili in zone lontane da centri di produzione. Le centrali solari, per essere connesse alla rete elettrica, necessitano di opportuni convertitori DC/AC. Più conveniente è l'utilizzo dell'energia solare per il riscaldamento di acqua a bassa temperatura (circa 60°C); possibile anche il riscaldamento dell'acqua ad alta temperatura concentrando per mezzo di specchi parabolici, la luce su adeguati "bollitori". Anche in questo caso la regolarità della produzione è fortemente pregiudicata, essendo condizionata dalle condizioni atmosferiche e stagionali.
- *Energia da biomasse.* Sono energie ottenibili utilizzando razionalmente materiali di rifiuto prodotti da uomini, animali e vegetali. L'utilizzo può avvenire a mezzo di combustione diretta o per combustione dei prodotti gassosi della fermentazione (principalmente metano).

La maggior parte delle centrali di produzione sono connesse tra loro e con il sistema di distribuzione dell'energia, cosicché l'intera rete nazionale può essere vista come un unico carico, il cui fabbisogno di energia è variabile nel tempo secondo dei diagrammi di carico giornalieri, il cui andamento tipico è mostrato in figura 1. L'andamento del diagramma di carico varia a seconda della stagione dell'anno considerata, tuttavia esso presenta sempre due massimi (punte di carico) ed un minimo notturno. Ponendo in ordinate la potenza richiesta ed in ascisse il tempo, l'area del diagramma di carico rappresenta l'energia giornaliera richiesta.

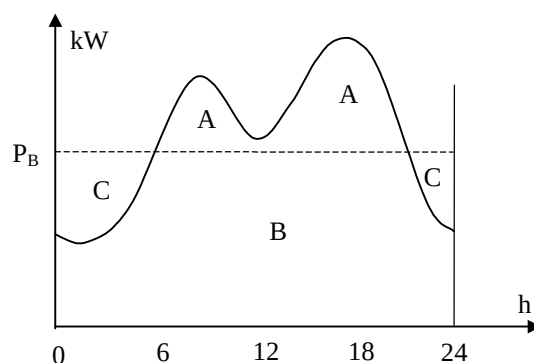


Fig. 1. – Esempio di diagramma di carico giornaliero. Sono evidenziate: le punte di carico (A), il carico base (B) e le eccedenze (C).

L'adeguamento della produzione alla richiesta viene fatta facendo funzionare alcune centrali in servizio continuativo, in modo che sia sempre disponibile una potenza base P_B , mentre altre centrali entrano in funzione per coprire le punte di carico. È evidente che nei periodi in cui la potenza richiesta è minore di P_B vi sarà una eccedenza di potenza disponibile. Per sopperire a questo inconveniente si utilizzano frequentemente delle centrali di pompaggio che, nei periodi di eccedenza, pompino acqua dai bacini di valle ai bacini in quota, accumulando così energia potenziale gravitazionale che potrà essere utilizzata il giorno dopo per coprire le punte del carico.

La scelta delle centrali che devono espletare il servizio di base o quello di punta avviene in base a criteri che possono essere così sintetizzati:

- Le centrali idroelettriche hanno tempi di messa in servizio piuttosto ridotti, dell'ordine dei minuti, per cui sono adatte all'espletamento del servizio di punta, che comporta frequenti distacchi ed inserzioni dell'impianto;
- Le centrali termoelettriche, invece, hanno bisogno di tempi di avviamento molto maggiori, a causa del tempo necessario per fare arrivare il vapore alla pressione e alla temperatura di funzionamento, con costanti di tempo dell'ordine delle ore (crescente con la potenza). Essendo inoltre di potenza notevolmente maggiore di quelle idroelettriche, esse sono idonee al servizio di base, caratterizzato da un funzionamento continuo, anche se non sempre alla stessa potenza.

LE LINEE ELETTRICHE

L'insieme delle macchine, apparecchiature e linee destinate alla produzione, trasformazione, trasmissione, distribuzione ed utilizzazione dell'energia elettrica costituisce il *sistema elettrico* in senso lato. In effetti il sistema complessivo è l'unione di più sottosistemi distinti fra loro a seconda della funzione, della tensione nominale o in base ad altri criteri. In maniera molto schematica la struttura generale di un sistema elettrico di potenza, di tipo trifase, è sintetizzata nella figura 2, dove si fa riferimento ad un unico generatore e si adotta la schematizzazione unifilare per la rappresentazione dei conduttori.

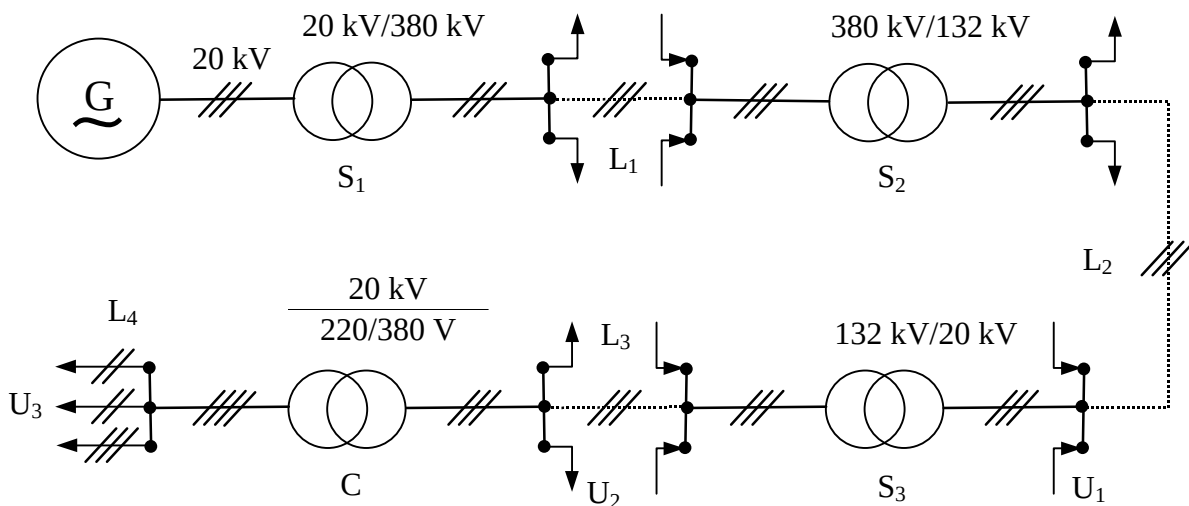


Fig. 2. – Schematizzazione di un sistema elettrico di potenza.

Le funzioni delle varie parti del sistema si possono così classificare:

- *Produzione* di energia elettrica mediante centrali di vario genere, funzionanti a tensione non molto elevata, per problemi di isolamento degli alternatori.
- *Trasformazione* delle grandezze elettriche (tensione e corrente) al fine di avere in ogni punto del sistema il valore di tensione più opportuno. Tale funzione viene svolta dalle stazioni di trasformazione (S_1, S_2, S_3) e dalle cabine di trasformazione (C). Le stazioni S_1 ed S_2 sono dette primarie, le S_3 secondarie.
- *Trasmissione* dell'energia elettrica, ossia il trasporto di notevoli quantità di energia a grandi distanze e con valori elevati di tensione, mediante linee aeree o in cavo. Nella figura 2 il tratto L_1 rappresenta una linea di trasmissione ed L_2 una linea di trasmissione secondaria.
- *Distribuzione*: è l'ulteriore livello del trasporto dell'energia ed interessa il collegamento tra le stazioni, le cabine e le utenze. Si distingue una distribuzione in media tensione (MT) svolta dalla linea L_3 ed una in bassa tensione (BT), propria delle linee $L_4^{(o)}$. Nelle zone d elevata densità di utenza queste linee sono generalmente in cavo.

^(o) Secondo la pratica corrente, pur se non sancita da alcuna norma, si parla di bassa, media ed alta tensione secondo il seguente criterio:

- *Bassa tensione* (BT) quando la tensione nominale è minore di 1000 V;
- *Media tensione* (MT) quando la tensione nominale è maggiore di 1000 V e minore di 30000 V;
- *Alta tensione* (AT) quando la tensione nominale è maggiore di 30000 V.

La norma CEI 64-8 classifica invece i sistemi elettrici in base alla tensione nominale nel seguente modo:

- *Categoria zero* quando la tensione nominale è minore di 50 V in alternata o di 120 V in continua;
- *Prima categoria* quando la tensione nominale è di 50 ÷ 1000 V in alternata o di 120 ÷ 1500 V in continua;

- *Utilizzazione* dell'energia elettrica, ossia trasformazione di tale energia in una forma adatta ad utilizzazioni civili ed industriali (illuminazione, movimentazione di organi meccanici, ecc.). Nella figura 2 si distinguono le utenze alimentate in AT (U_1), in MT (U_2) e in BT (U_3). La consegna dell'energia elettrica viene effettuata in AT o MT solo per le utenze più importanti (utenze industriali). Per le utenze minori, quali officine o abitazioni (utenze domestiche), le cabine garantiscono una tensione concatenata nominale di circa 380 V oppure una tensione fase – neutro di 220 V.

In realtà il sistema elettrico italiano ha una complessità ben maggiore di quella deducibile dalla figura 2. Tutte le maggiori centrali di produzione sono tra loro collegate mediante linee di interconnessione, in modo tale che, al livello delle tensioni più alte vi sia una unica rete interconnessa, in cui confluisce tutta l'energia prodotta, con il vantaggio che la messa fuori servizio di una centrale non pregiudica l'alimentazione di una o più zone del territorio nazionale. In questo modo diventa però estremamente delicato il problema della regolazione delle energie prodotte dalle varie centrali e della ripartizione dei flussi di energia sulle varie linee. È da tenere presente inoltre la presenza di linee di connessione tra l'Italia ed i paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria) attraverso le quali si attua l'import-export energetico.

Dalla figura 2 si nota che i vari punti del sistema elettrico sono caratterizzati da diversi livelli di tensione. I motivi che portano ad una scelta tecnicamente ed economicamente corretta dei vari valori sono molteplici. Alcuni di essi sono i seguenti:

- Isolamento delle macchine e delle apparecchiature, che deve essere proporzionato alla tensione di esercizio; poiché i trasformatori, che sono macchine statiche, sono più facilmente isolabili degli alternatori si preferisce produrre con tensioni di 15÷30 kV ed elevare la tensione a valori adatti al trasporto mediante i trasformatori. Tali valori sono in generale funzione della potenza da trasmettere e della distanza. In proposito valgono i seguenti ordini di grandezza:

P [MW]	500	130	60	25	10
l [km]	300÷1000	100÷300	60÷130	20÷60	10÷20
V [kV]	380	220	132	60	20

- A parità di potenza apparente la corrente $I = N/\sqrt{3} V$ (in corrente alternata trifase) diminuisce all'aumentare della tensione e pertanto è conveniente effettuare il trasporto, specie per potenze rilevanti, alla tensione più elevata possibile;
- Livelli di tensione delle utenze: la maggior parte delle utenze funziona a bassa tensione e pertanto occorrono i vari stadi di trasformazione della tensione, dai valori di trasporto (220 kV, 380 kV) a quelli di utilizzo (220 V, 380 V nella maggior parte dei casi);
- Sicurezza degli utenti, che aumenta al diminuire della tensione e pertanto, per le parti di impianto a diretto contatto con le persone, è preferibile adottare bassi livelli di tensione.

Un'altra considerazione da fare riguarda la frequenza: il sistema di trasmissione generalmente impiegato è quello a corrente alternata trifase di frequenza 50 Hz (in Europa, 60 Hz negli USA). L'adozione di frequenze più elevate comporterebbe macchine di minori dimensioni a pari potenza. Tuttavia gli aumenti delle reattanze magnetiche proprie delle linee e dei generatori renderebbero estremamente difficoltosa la regolazione della tensione e la stabilità dell'esercizio.

-
- *Seconda categoria* quando la tensione nominale è di 1000 ÷ 30000 V in alternata o di 1500 ÷ 30000 V in continua;
 - *Terza categoria* quando la tensione nominale è maggiore di 30000 V sia in alternata sia in continua.

È da notare infine che, ai fini antinfortunistici, il DPR n. 547 considera di bassa tensione gli impianti con tensione nominale inferiore a 400 V in alternata e 600 V in continua; *tutti gli altri sono da considerarsi di alta tensione.*

CENNI COSTRUTTIVI

Le linee di trasporto sono realizzate, generalmente, con conduttori nudi che si appoggiano ad appositi sostegni. Valutazioni di carattere sia elettrico (livello di tensione e di corrente) che meccanico (lunghezza dei tratti di conduttore fra due sostegni, presenza di sollecitazioni aggiuntive, quali vento e neve o ghiaccio) sono alla base dei criteri che conducono alla scelta del materiale conduttore per le linee e la loro organizzazione strutturale. I conduttori (in rame o alluminio) sono realizzati in fili o corde. A parità di resistenza elettrica, un conduttore di alluminio deve avere una sezione maggiorata del 60% rispetto ad un conduttore di rame: il suo peso risulta tuttavia circa la metà di quello in rame. Generalmente sono irrobustiti meccanicamente da un'anima interna costituita da una fune di acciaio.

Le linee ad alta tensione prevedono la presenza di un conduttore supplementare (indicato con G nella figura 3), denominato fune di guardia, generalmente posto in cima al traliccio di supporto. La sua funzione è quella di costituire una schermatura protettiva dei cavi sottostanti (indicati con L nella figura 3) nei confronti di eventuali fulminazioni dirette. Inoltre, la fune di guardia, metallicamente connessa ai tralicci, abbassa la resistenza di terra complessiva dei singoli tralicci, collegati in parallelo verso terra. La fune di guardia è generalmente costituita da corde in acciaio zincato o *aluminumweld*, un conduttore con anima in acciaio e strato esterno in alluminio.

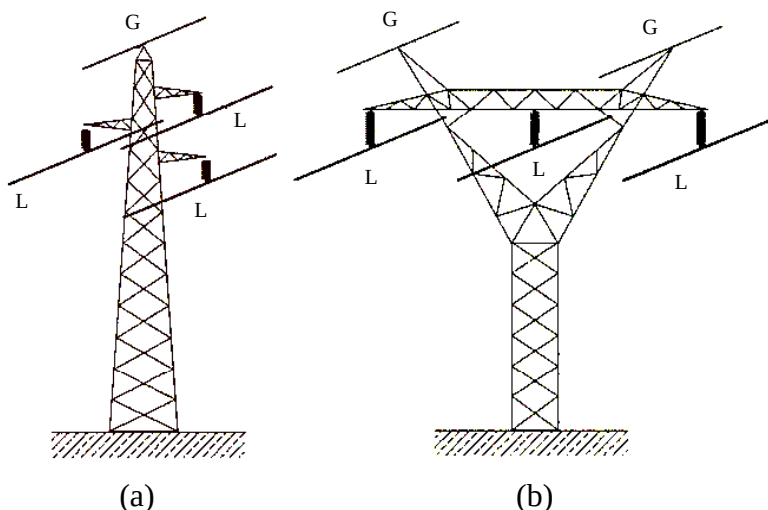


Fig. 3. – Tralicci per MT (a) ed AT (b).

L'impiego di conduttori nudi comporta la necessità di provvedere ad un loro adeguato isolamento dai supporti (tralicci), interponendo opportuni isolatori costruiti perlopiù in vetro, porcellana o resine polimeriche. Gli isolatori sono formati spesso da elementi assemblati in maniera da formare una catena la cui rigidità dielettrica complessiva risulta circa multipla di quella dell'isolatore singolo. Un ulteriore parametro di progetto è costituito dalla forma degli isolatori. Il problema della forma è particolarmente curato per gli isolatori per esterno. A differenza di quelli per interni, infatti, devono far fronte a condizioni di esercizio certamente più gravose per la presenza di fattori ambientali sfavorevoli, quali la pioggia, l'umidità e l'azione di agenti contaminanti (fumi industriali e/o salsedine nelle zone costiere).