

APPUNTI DEL CORSO DI

Impianti Elettrici Utilizzatori e Fotovoltaici

(a.a 2019/2020)

Docente: Rosario Carbone

CAPITOLO 1

Generalità sugli impianti elettrici utilizzatori e sulle reti di distribuzione d'utente.

1.1 Introduzione ai contenuti del corso

Prima di entrare nel merito delle caratteristiche principali e peculiari degli impianti elettrici utilizzatori e fotovoltaici, si ritiene utile fornire di seguito un riassunto schematico (o indice) degli argomenti che verranno affrontati nel corso, in ordine cronologico.

Capitolo 1 – Generalità sugli impianti elettrici utilizzatori e sulle reti di distribuzione d'utente.

Capitolo 2 – Circuito equivalente e modello matematico di una linea elettrica e delle reti di distribuzione, in condizioni di funzionamento normale.

Capitolo 3 – Leggi, norme tecniche e criteri per la progettazione delle reti di distribuzione.

Capitolo 4 – Anomalie di funzionamento sulle reti di distribuzione e metodi e sistemi per la loro protezione

Capitolo 5 – Pericolosità della corrente elettrica per l'uomo e metodi e sistemi di protezione (o, più semplicemente, sicurezza elettrica).

Capitolo 6 – Costituzione, funzionamento, dimensionamento e messa in sicurezza degli impianti fotovoltaici.

1.2 Generalità sugli impianti elettrici utilizzatori

Un impianto elettrico utilizzatore è la parte più periferica di un sistema maggiormente complesso che, in un precedente corso, abbiamo già chiamato “Sistema Elettrico per L'energia”. A tal proposito, si ricorda che un sistema elettrico per l'energia è, fondamentalmente, strutturato in forma di sub-sistemi tra loro interconnessi, che sono:

- a. il sub-sistema di produzione;
- b. il sub-sistema di trasmissione;
- c. il sub-sistema di distribuzione;
- d. il sub-sistema di utilizzazione (o, appunto, gli impianti elettrici utilizzatori).

Come sinteticamente indicato nel cosiddetto “schema unifilare” di un generico (e semplice) sistema elettrico per l'energia (Figura 1), il sub-sistema di produzione è formato da più “centrali elettriche” (idroelettriche, termoelettriche, ...) che, appunto, provvedono a generare l'energia elettrica, a partire da una fonte primaria di energia (calore, energia cinetica, luce solare, ...).

L'energia elettrica prodotta nelle centrali deve essere successivamente “delocalizzata” dalle stesse, per portarla laddove richiesta (impianti utilizzatori). A questo compito è preposto, innanzitutto, il sub-sistema di trasmissione e, successivamente, il sub-sistema di distribuzione.

Nel sub-sistema di trasmissione, la delocalizzazione dell'energia elettrica avviene su distanze molto lunghe (anche alcune centinaia di chilometri) e, per contenere le perdite di potenza per effetto joule sulle linee elettriche, ciò avviene con valori molto alti della tensione elettrica (tipicamente, 380 kV per le linee cosiddette di AAT o 220kV o 150kV per le linee cosiddette di AT). Man mano che ci si avvicina ai centri abitati o di utilizzazione, le lunghezze delle linee elettriche sono minori e la loro tensione di esercizio può essere abbassata (anche per motivi di sicurezza delle persone) venendosi

così a formare il cosiddetto sub-sistema di distribuzione (tensioni tipiche delle reti di distribuzione sono i 20 kV, per le linee di media tensione MT, e i 400 V, per le linee di bassa tensione BT). Segue, quindi, la consegna dell'energia elettrica ai centri di utilizzo (impianti elettrici utilizzatori).

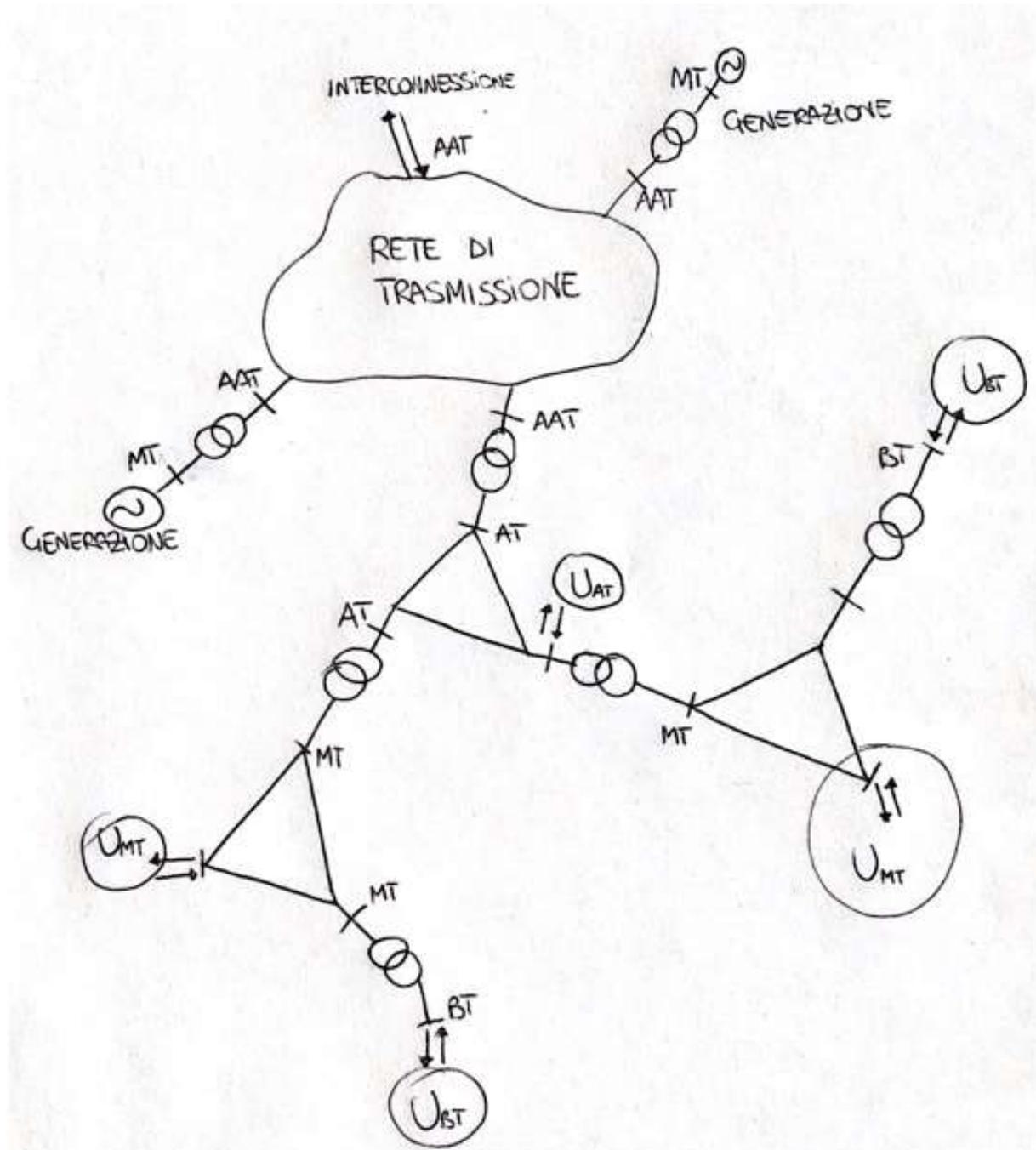


Figura 1 - Schema unifilare di un semplice Sistema Elettrico per L'Energia e collocazione degli impianti elettrici utilizzatori

A seconda dell'importanza (e della potenza richiesta), gli impianti elettrici utilizzatori possono essere alimentati a partire dalle reti AT, o MT o BT.

Gli impianti utilizzatori alimentati direttamente in AT sono solitamente grandi complessi industriali (poco comuni), quali ad esempio uno stabilimento per la produzione di automobili. Questi impianti esulano dai contenuti del nostro corso.

Gli impianti utilizzatori alimentati in MT ed in BT sono, all'incirca in egual misura, molto più diffusi rispetto ai precedenti e, anche per questo, sono oggetto di studio di questo corso.

Gli impianti utilizzatori alimentati in MT sono spesso medio/piccoli stabilimenti industriali o grossi uffici o ospedali ecc., che richiedono potenze elettriche normalmente superiori a 100kW ed entro il MW.

Gli impianti utilizzatori con alimentazione in BT sono solitamente installati in edifici di tipo residenziale o relativi piccole attività industriali/commerciali/uffici, in cui la potenza elettrica richiesta è inferiore a 100kW.

Una prima grande ed importante differenza tra utenze in MT ed utenze BT è dovuta al fatto che le utenze MT hanno sempre una propria cabina di trasformazione, contenente uno o più trasformatori che consentono il passaggio dalla MT alla BT, per un'appropriata e sicura alimentazione della stragrande maggioranza dei carichi elettrici.

Infatti, la MT (tipicamente $V_N=20kV$) è troppo alta per poter alimentare in sicurezza i carichi più comuni e posti in prossimità delle persone; perciò, all'interno di un impianto utilizzatore alimentato in MT, è presente almeno un trasformatore (MT/BT) che adegua il valore della tensione di alimentazione a quella ottimale dei carichi elettrici. Negli impianti elettrici utilizzatori, i locali preposti ad ospitare i trasformatori e le altre apparecchiature complementari sono chiamati "cabine d'utente". È giusto sottolineare che, tuttavia, esistono anche utilizzatori elettrici che funzionano usando direttamente la media tensione, come ad esempio alcuni motori trifase o macchinari di grossa potenza ma, si ripete, sono alquanto rari. Gli impianti elettrici utilizzatori alimentati in MT sono sempre trifase.

Negli impianti elettrici utilizzatori alimentati in BT (senza cabina d'utente), l'alimentazione può essere sia trifase (per potenze superiori a 6 kW, con valore efficace della tensione "concatenata" pari a $V_N=400V$) che monofase (per potenze inferiori ai 6kW, con valore efficace della tensione "stellata" pari a $V_N=230V$).

Dalla premessa emerge che una generica utenza, sia essa alimentata in MT o BT, pur risultando ovviamente meno complessa del sistema elettrico per l'energia dal quale è derivata, è a tutti gli effetti un impianto elettrico, dalla costituzione a volte anche molto complessa.

Pertanto, la progettazione e la costruzione degli impianti elettrici utilizzatori è rigorosamente regolamentata da leggi e norme tecniche. A tal proposito, è ben noto il concetto che gli impianti elettrici utilizzatori devono essere progettati ed eseguiti a "regola d'arte".

In Italia, il Comitato preposto (per legge) allo studio ed alla emanazione delle norme tecniche di progettazione e realizzazione a regola d'arte degli impianti elettrici utilizzatori è il CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano); eseguire la progettazione e la realizzazione di un impianto elettrico utilizzatore secondo le prescrizioni contenute nelle norme CEI è condizione sufficiente (anche se non strettamente necessaria) per soddisfare il principio della regola d'arte. L'argomento specifico sarà approfondito più avanti.

Dal punto di vista della costituzione, in un impianto elettrico utilizzatore sono sempre rilevabili:

- almeno un punto di alimentazione;
- una rete di distribuzione dell'energia elettrica ai carichi (lampade, motori, elettrodomestici...);

- l'insieme degli apparecchi di manovra e di protezione dei componenti d'impianto e delle persone (interruttori, sezionatori, interruttori automatici, fusibili, scaricatori di sovratensione, ...);
- gli involucri/custodie (es. quadri, nei quali vengono installate le apparecchiature di manovra e protezione, cassette di derivazione entro cui vengono installati i componenti atti a garantire la realizzazione delle reti di distribuzione, ...).

È il caso di osservare che i carichi elettrici consistono spesso in macchinari anche molto complessi che "a bordo" presentano (in piccolo) un vero e proprio impianto elettrico, anche complesso. A prescindere dalla loro complessità o meno, i carichi elettrici, ed in particolare i loro impianti elettrici di bordo, non sono considerati parti dell'impianto elettrico utilizzatore soggetti alle regole di progettazione e realizzazione di cui diremo durante il corso. Infatti, gli impianti elettrici di bordo degli utilizzatori sono soggetti a specifica normativa (in gergo, "direttiva macchine") ed i responsabili della loro progettazione e realizzazione a regola d'arte sono direttamente i costruttori degli stessi. Per chi deve progettare o realizzare a regola d'arte un impianto elettrico utilizzatore i carichi elettrici sono semplicemente le utenze di cui bisogna soddisfare il fabbisogno di energia elettrica, in piena efficienza, economia e sicurezza. Si deduce facilmente che la conoscenza preliminare dei carichi elettrici (normalmente fornita dal Committente) è perciò un presupposto fondamentale per poter procedere ad una corretta progettazione e realizzazione di un impianto elettrico utilizzatore.

Un concetto importante è che i calcoli necessari per la progettazione e la conseguente realizzazione a regola d'arte delle reti di distribuzione degli impianti elettrici utilizzatori sono eseguiti facendo espresso riferimento alle condizioni di funzionamento "normali" (sia dei carichi che delle reti stesse e di tutti i relativi componenti accessori).

Di conseguenza, per evitare che in caso di anomalie di funzionamento, delle reti o dei carichi, le linee elettriche possano subire fenomeni dannosi/distruttivi, con pericolo immediato anche per le persone, è assolutamente necessario prevedere, già in fase di progettazione dell'impianto, l'aggiunta di un opportuno sistema di protezione (a tutti gli effetti parte integrante dell'impianto stesso); distingueremo tra sistemi di protezione dedicati alla salvaguardia dei componenti di impianto (e, indirettamente, delle persone) e sistemi di protezione precipuamente e direttamente dedicati alla protezione delle persone.

L'impianto elettrico utilizzatore, oltre a soddisfare le necessità dei carichi e risultare sicuro rispetto ai rischi connessi al contatto tra uomo e l'elettricità dell'impianto, deve essere altresì efficiente ed economico, anche con riferimento ai costi iniziali di realizzazione.

1.3 Architetture delle reti di distribuzione per impianti elettrici utilizzatori

Una rete elettrica di distribuzione altro non è che un insieme di linee elettriche tra loro interconnesse secondo una determinata architettura, per distribuire energia elettrica ai carichi a partire dai centri di alimentazione. Ciò deve avvenire nel modo ritenuto più efficiente, sicuro ed economico, anche in funzione delle caratteristiche peculiari dell'utenza.

Le architetture maggiormente diffuse per le reti di distribuzione d'utente in MT e BT sono:

- Architettura radiale, e si distingue tra:
 - Radiale semplice;
 - Radiale doppio;
- Architettura ad anello.

L'architettura di rete radiale è la più diffusa per gli impianti alimentati direttamente in bassa tensione mentre la rete ad anello è più utilizzata per gli impianti alimentati in media tensione.

Architettura radiale

È la più semplice ed economica da realizzare.

Presenta una struttura ad albero composta da un centro di alimentazione e da diversi rami che vanno dal centro di alimentazione fino ai carichi elettrici più periferici.

La principale caratteristica della rete radiale è che, per ogni carico, il percorso che porta dal centro di alimentazione al carico è unico.

Una determinata linea della rete può alimentare direttamente uno o più carichi a partire dal centro di alimentazione oppure “smistare” in un altro luogo (magari più baricentrico rispetto ai carichi) il centro di alimentazione a partire dal quale alimentare i carichi con altre linee aggiuntive. In questo caso, ad una linea che smista tutta (o grosse aliquote) della potenza elettrica dell’impianto da un centro di alimentazione (o “nodo”) ad un altro si dà il nome di linea “dorsale”.

Nella figura 2 è rappresentata schematicamente una rete radiale semplice senza linee dorsali.

Nella figura 3 è rappresentata una rete radiale, ancora “semplice”, ma più complessa rispetto a quella precedente e con presenza di più linee dorsali.

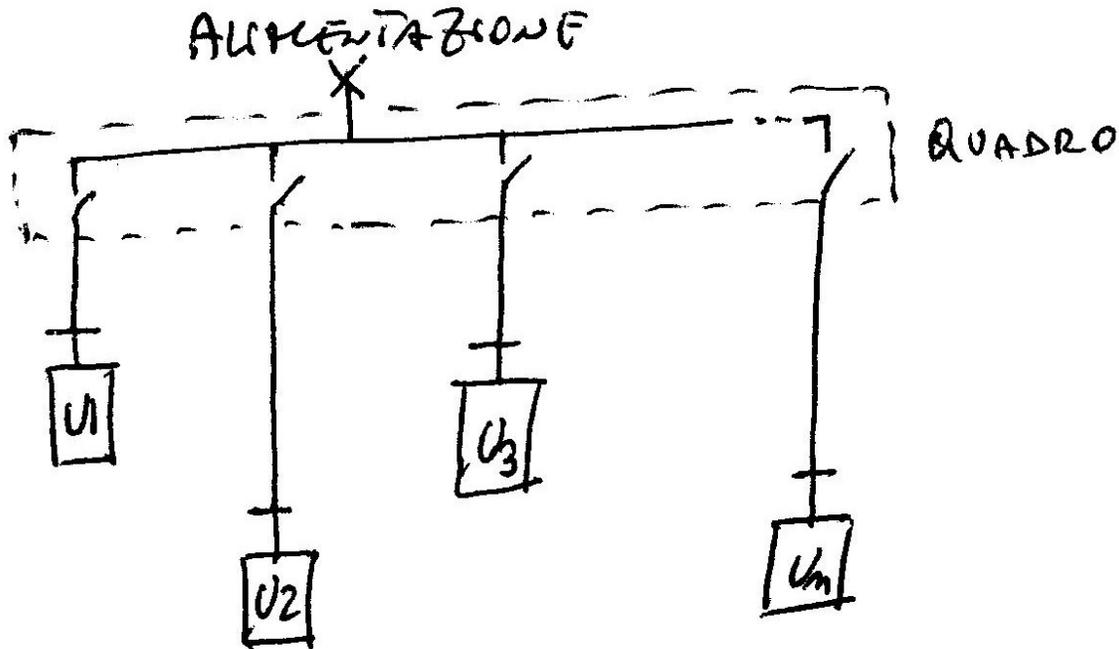


Figura 2 – Esempio di rete radiale semplice, senza “dorsale”

La rete radiale senza linee dorsali è molto semplice ed ha un buon livello di affidabilità. È molto semplice da progettare e gestire, anche in condizioni di guasto; infatti, risulta naturalmente selettiva nei confronti dei guasti dato che i sistemi di protezione, con il loro intervento, tolgono alimentazione elettrica (disservizio!) solo ai carichi alimentati dalla linea guasta. È anche ben predisposta ad essere ampliata in tempi successivi alla sua realizzazione per ospitare eventuali nuovi carichi futuri, sebbene ciò comporti l’aggiunta di nuove linee. Può risultare costosa in fase di realizzazione anche a causa dei maggiori costi di posa in opera (realizzazione delle canalizzazioni per la posa delle linee elettriche), oltre che per il maggior numero di linee che la contraddistinguono.

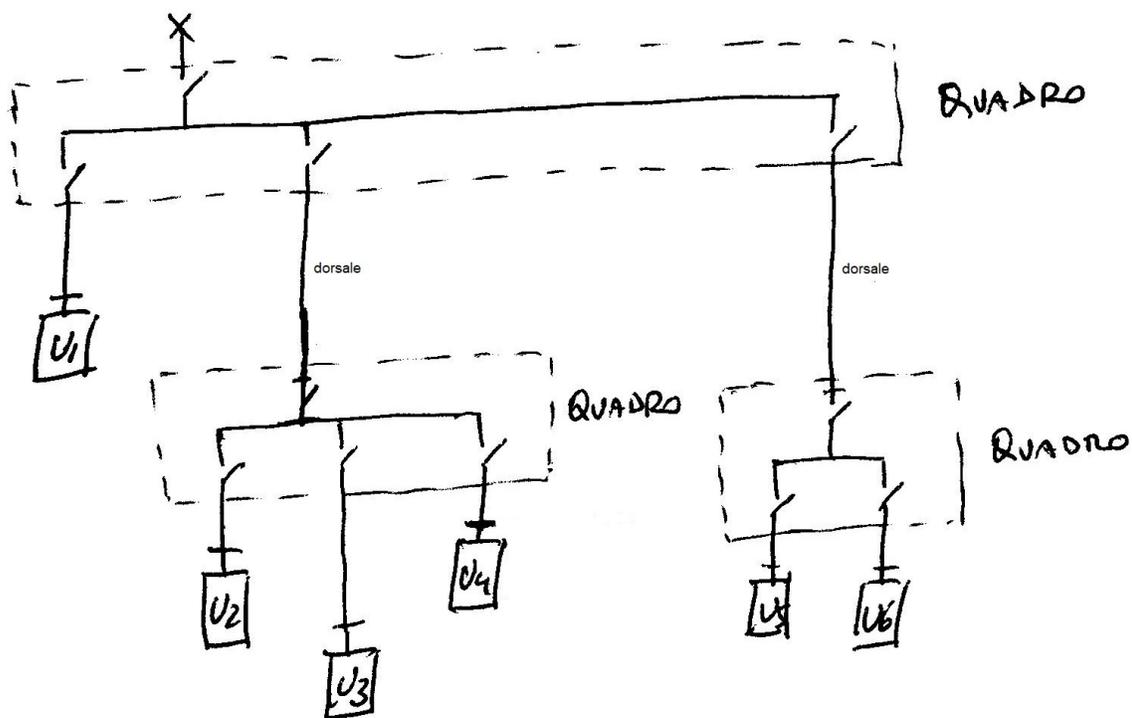


Figura 3 – Esempio di rete radiale semplice, con più linee “dorsali”

La rete radiale con una o più linee dorsali garantisce una grande economia in fase realizzativa; tuttavia, in caso di guasto di una linea dorsale un numero più o meno grande di carichi potrebbe risultare disalimentato a causa dell'intervento della protezione di dorsale, provocando interruzioni del servizio elettrico anche in parti di impianto non soggette a guasto; ciò si traduce anche in una maggiore difficoltà nell'individuare la porzione di impianto in cui si è verificato il guasto. Bisogna però aggiungere che (come vedremo in seguito) questi problemi possono essere attenuati progettando i sistemi di protezione contro i guasti sulle linee che compongono la rete in modo che risultino tra loro “selettivi”. La rete radiale con dorsale è anche scarsamente predisposta ad ospitare eventuali nuovi carichi futuri; infatti, nel caso di aggiunta di un carico periferico questo andrà a sovraccaricare per tutta la potenza aggiuntiva sia la linea periferica che una o più linee dorsali che, se non sovradimensionate già nella fase di progettazione, risulteranno sottodimensionate per la nuova situazione.

Una estensione della rete radiale semplice (senza o con dorsale) è la cosiddetta rete a radiale doppio; una sua semplice rappresentazione schematica è mostrata nella figura 4.

In condizioni normali, le reti a radiale doppio sono esercite come reti a radiale semplice ma, in caso di guasto o di perdita di un centro di alimentazione, la rete può essere riconfigurata grazie alla presenza dei “commutatori” (o congiuntori) in modo che tutti i carichi (o almeno quelli ritenuti più importanti) possono essere alimentati anche dopo il guasto; ciò aumenta in modo significativo la sua qualità (disponibilità) del servizio elettrico. Allo stesso tempo, aumentano però i costi di realizzazione.

Le possibili configurazioni della rete a radiale doppio vanno studiate ad hoc già nella fase realizzativa.

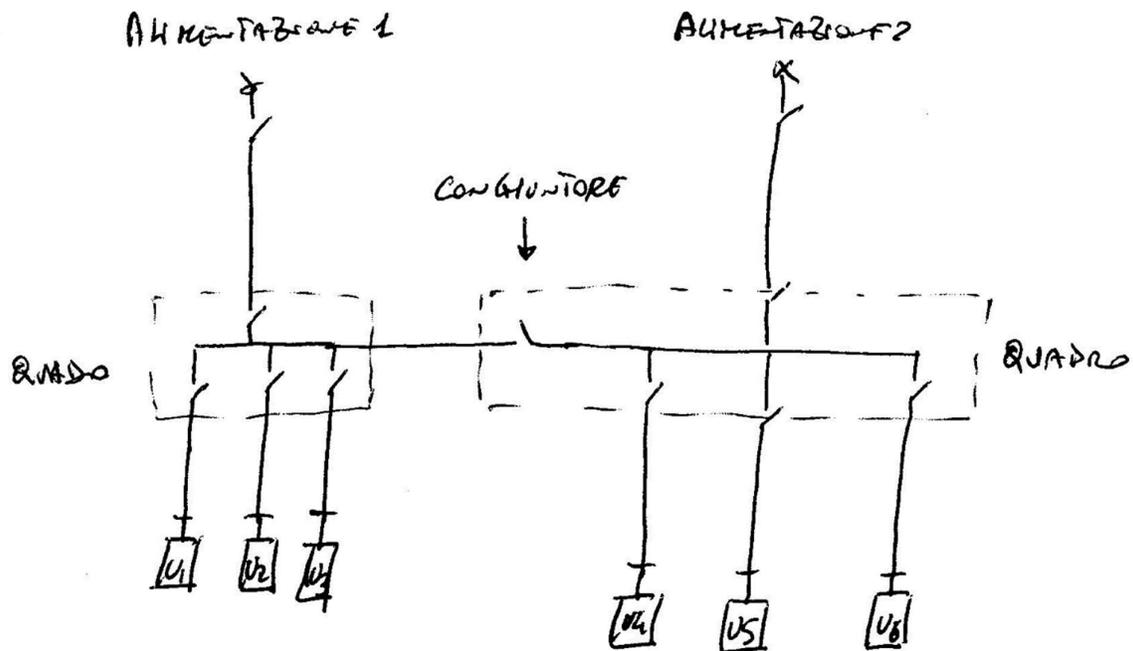


Figura 4 – Esempio di rete a radiale doppio

Architettura ad anello

Lo schema di una semplice rete ad anello è mostrato nella figura 5.

La rete ad anello è maggiormente impiegata in MT.

È qualitativamente migliore di quella radiale.

Una delle peculiarità più rilevanti è che può avere più di un centro di alimentazione.

Ogni carico può ricevere l'alimentazione da due lati; in questo modo, tutti i carichi possono risultare alimentati anche a seguito di un guasto su un solo lato dell'anello.

La potenza aggiuntiva derivante dall'inserimento di un nuovo carico può essere ripartita su due linee e non su di una come avveniva nel caso radiale, con conseguente minore sovraccarico delle linee.

La gestione dei guasti è più complessa e prevede l'uso di protezioni direzionali, i quali riescono ad isolare l'eventuale tratto di lato guasto.

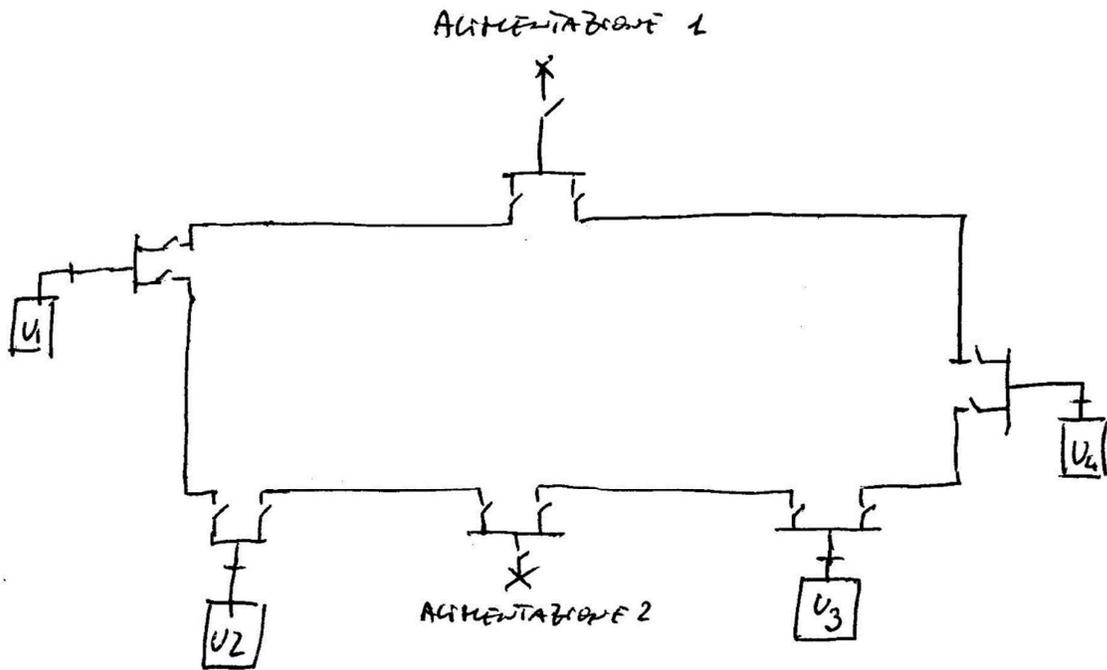


Figura 5 – Esempio di rete ad anello