

Calcolo dei flussi di potenza e delle perdite nelle reti di distribuzione squilibrate con serie temporali di dati

Corso di laurea magistrale in ingegneria elettrica

Candidato: *Stefano Aime*, Relatore: *Gianfranco Chicco*, Correlatore: *Andrea Mazza*

Marzo 2021, Anno Accademico 2021/2022

Abstract- Il lavoro che viene presentato si focalizza sulle reti di distribuzione in quanto rappresentano una parte fondamentale del sistema elettrico; in particolare le reti di distribuzione sono la parte di rete che si sviluppa dalla cabina primaria e arriva fino alle utenze con una struttura radiale. Nelle reti di distribuzione odierne è sempre più fondamentale disporre di sistemi di calcolo che permettano di avere i valori delle tensioni e correnti che siano quasi in tempo reale e con la massima precisione, per questo si propone un'analisi di alcune reti fornite dalla guida IEEE in modo tale da verificare come sia possibile calcolare i valori di tensioni e correnti tramite il flusso di potenza trifase e che differenza c'è ad effettuare il calcolo dei flussi di potenza con serie temporali di dati al quarto d'ora piuttosto che al minuto.

Parole chiave- Reti di distribuzione, BFS trifase, Perdite, Serie temporali di dati.

I. INTRODUZIONE

Oggi le reti di distribuzione elettrica stanno assumendo un ruolo molto più centrale all'interno dei sistemi elettrici a causa della diffusione degli impianti di generazione distribuita e dei veicoli elettrici. La prima parte della tesi verte sull'analisi delle reti di distribuzione di test messa a disposizione dall'IEEE in modo tale da sviluppare un programma di calcolo in grado di eseguire il flusso di potenza trifase. Le reti prese in esame sono la rete di Kersting a due nodi in modo tale da verificare il corretto funzionamento del programma nel calcolo delle perdite, la rete a 4 nodi che permette di validare il modello di un trasformatore e la rete a 13 nodi che fornisce un buon test di convergenza per un sistema molto squilibrato. Si confrontano inoltre i risultati delle perdite, avendo a disposizione i valori del carico al minuto e al quarto d'ora, con l'intento di mostrare la necessità di monitorare i carichi con la maggiore precisione possibile.

II. ANALISI DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE IEEE

Per poter ottenere il valore dei parametri elettrici delle reti di distribuzione si utilizza il metodo backward forward sweep (BFS) che permette di ottenere i valori di tensione e corrente in una rete radiale seguendo la logica mostrata in Figura 1. Una volta che si è implementato il calcolo del flusso di potenza si sono confrontati i risultati in termini di tensioni, correnti e perdite ottenuti dal calcolo condotto in Matlab con quelli presenti nella documentazione IEEE per verificare la validità del programma sviluppato. I risultati ottenuti tramite il metodo BFS sono coerenti con quelli messi a

disposizione nella rete IEEE appurando così che il programma usato funzionasse correttamente.

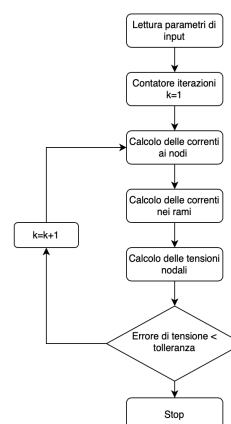


Figura 1: Flow chart del flusso di potenza

Per quanto riguarda la rete di Kersting si sono comparati i risultati del BFS con quelli ottenuti con il semplice utilizzo della legge di Ohm, e si è accertato il paradosso della potenza media persa. Infatti, i valori della potenza persa nella rete di Kersting presentano valori negativi che non possono essere rappresentativi della potenza persa fisicamente in rete, ma si spiegano tenendo conto del modello esteso con la presenza nella rete del neutro e di altre parti del circuito di ritorno. Si è ipotizzata inoltre la potenza attiva e reattiva media dei carichi con una variazione temporale all'ora per valutare l'andamento delle tensioni e delle correnti nel tempo; nello specifico si sono scelti degli andamenti di assorbimento attivo e reattivo che imitassero il comportamento di utenti residenziali, industriali e terziari.

Per poter analizzare al meglio le caratteristiche delle reti di distribuzione si è ipotizzato un andamento al minuto ottenuto mediante interpolazione lineare che viene mostrato in Figura 2:

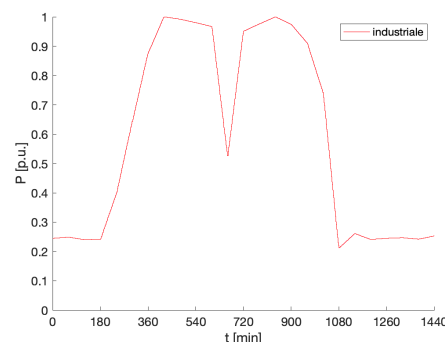


Figura 2: Andamento temporale al minuto con carico industriale della rete a 4 nodi

Si è utilizzato l'andamento mostrato nella Figura 2 nella rete a 4 nodi disponibile nella documentazione IEEE per esaminare il comportamento di un trasformatore variatore di carico MT/BT, verificandone il numero di variazioni delle prese durante la giornata come mostrato nella Figura 3. Inoltre, si è utilizzato lo stesso andamento del carico per poter valutare l'allocazione delle perdite nella rete approfondendo i diversi metodi di calcolo.

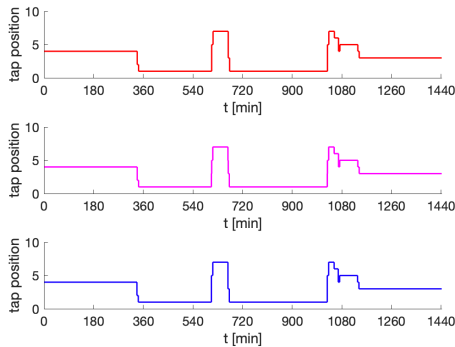


Figura 3: Variazione di presa per le tre fasi del trasformatore durante una giornata in presenza di carico industriale

III. RETE EUROPEA DI BASSA TENSIONE IEEE

Al fine di valutare più nel dettaglio l'andamento delle potenze perse e la sua validità con serie temporali di dati, si è scelto di prendere in esame la rete di bassa tensione europea che è fornita nella documentazione IEEE.

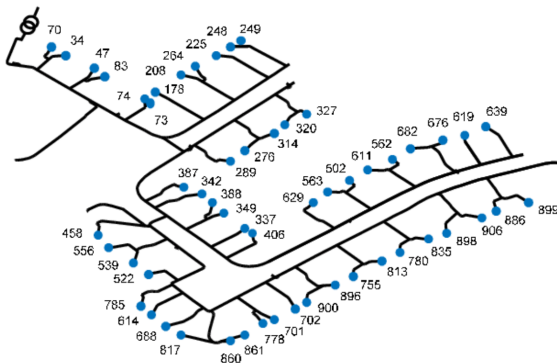


Figura 4: Grafo della rete con numerazione dei terminali

L'analisi della rete di bassa tensione europea parte dal calcolo delle impedenze di linea, in quanto i dati forniti dalla guida IEEE sono quelli di impedenza di sequenza diretta, inversa e omopolare; per fare ciò si è utilizzata la matrice di Fortescue che permette di ottenere i valori delle impedenze della linea trifase partendo dai valori di sequenza diretta inversa e omopolare. Una volta ottenuti i valori dell'impedenze delle linee si sono esportati i valori dei carichi in termini di potenza attiva e reattiva da poter inserire nel programma che permette di calcolare il flusso di potenza e delle perdite. Al termine del BFS si sono confrontati i risultati delle tensioni e delle correnti con quelli messi a disposizione nella documentazione IEEE per verificare come per le altre reti il corretto funzionamento del programma di calcolo sviluppato.

IV. SERIE TEMPORALI DI DATI PER IL CALCOLO DELL'ENERGIA PERSA

Avendo a disposizione la rete di bassa tensione europea che fornisce un test per le reti di bassa tensione si è potuto valutare cosa succedesse avendo a disposizione i dati dei carichi al minuto piuttosto che al quarto d'ora (che sono le letture fornite dai contatori reali).

Prima di mostrare i risultati direttamente sulla rete di bassa tensione europea si è eseguito un ulteriore esempio utilizzando la rete di Kersting, ipotizzando di avere nella rete la presenza della generazione distribuita; infatti, in questi casi se si ha a disposizione un numero di dati molto basso, ad esempio, un valore per ogni ora, si possono ottenere dei risultati non rappresentativi di quello che succede realmente sulla linea, e addirittura si può pensare di avere una linea completamente scarica quando in realtà si ha un corrente che circola e che causa delle perdite e un deterioramento del cavo. Si cerca allora di dimostrare quanto ricavato nella linea di Kersting anche nella linea di bassa tensione europea nella quale non è presente una generazione distribuita, ma dalla quale è comunque possibile evincere come avere a disposizione i valori al minuto piuttosto che farne la media al quarto d'ora porti ad avere dei risultati di energia persa maggiori. I risultati di energia persa vengono confrontati sia in termini assoluti come mostrato in Figura 5, sia in termini di errore relativo.

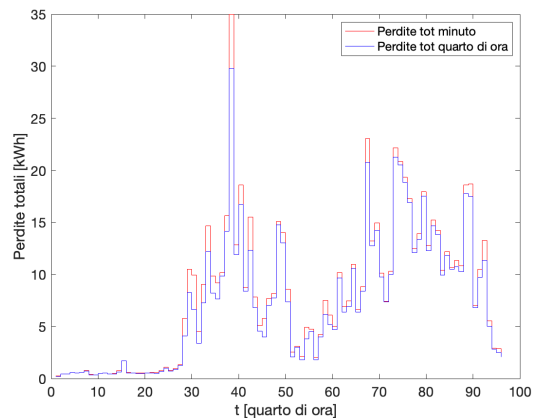


Figura 5: Confronto delle energie perse totali

V. CONCLUSIONI E OBIETTIVI FUTURI

Questo lavoro è stato redatto con l'obiettivo di portare un contributo allo sviluppo delle reti di distribuzione e con l'intento di dimostrare come l'analisi dei carichi al minuto debba essere un obiettivo fondamentale per i distributori di energia elettrica. I progetti eseguiti durante l'elaborazione della tesi sono stati inoltre utilizzati insieme ai relatori per sviluppare un articolo proposto durante un forum internazionale IEEE che presenta metodologie, tecniche e risultati sperimentali di progettazione nell'elettrotecnica, nella quale viene approfondito il concetto di granularità dei dati dei carichi nelle comunità energetiche, focalizzandosi nella valutazione dell'energia persa con differenti serie temporali di dati. Gli obiettivi futuri riguardano un'analisi sistematica delle perdite di energia su un insieme più esteso di reti elettriche di distribuzione.