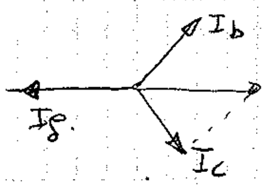
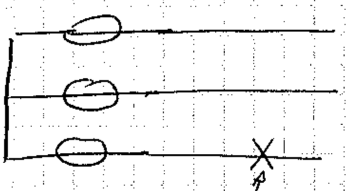
Supponiamo che
Dopo il guasto il centro stella si sposta in a. Cosa succede alle capacità?

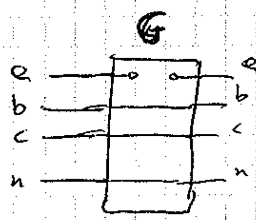


Le correnti I_b e I_c passano nel guasto. La corrente di guasto sostiene l'arco. Lo spegnimento dell'arco è tanto più difficile tanto sono più forti le capacità. Un tedesco (Petersen) ebbe l'idea di mettere un'induttanza tra N e terra per compensare la capacità del sistema. Cercò di compensare completamente la capacità. Se la bobina è sintonizzata diminuiscono le correnti. Il problema è dovuto al fatto che le capacità parassite variano nel tempo. (Di conseguenza la bobina di Petersen non è utilizzata). Viene messa un impedenza tale che fornisce una soluzione di compromesso tra sovra tensioni e correnti di guasto.

Fino ad ora abbiamo considerato guasti di tipo additivo. Ci possono essere anche guasti di tipo sottrattivo.



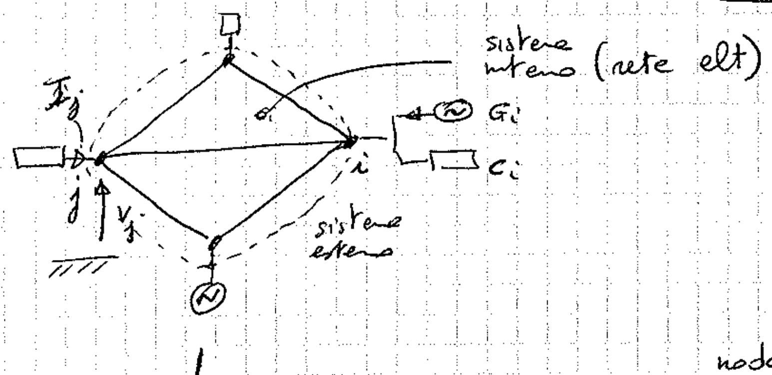
rottura della linea.



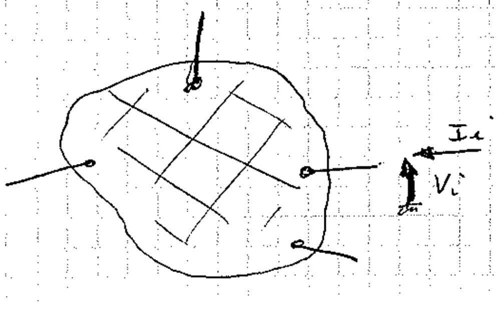
Nei guasti additivi si aveva un tripolo simmetrico più uno di guasto.

Adesso invece abbiamo un doppio tripolo che rappresenta il guasto. All'esterno del doppio tripolo abbiamo il sistema simmetrico. Si possono risolvere con il metodo delle componenti simmetriche.

ANALISI dei FLUSSI di POTENZA (Load flow)



Il generatore G_i immette in rete S_{G_i}, mentre il carico assorbe una potenza S_{C_i}. Ne segue che $S_i = S_{G_i} - S_{C_i}$. Indichiamo con V_j la tensione nodale, e con I_j le correnti immesse nel ~~nodo~~ sistema nel nodo j.



Supponiamo che il sistema funzioni in condizioni normali.

Indichiamo con $\underline{v} = \begin{vmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{vmatrix}$ il vettore delle tensioni nodali.

Analogamente definiamo il vettore delle correnti nodali $\underline{i} = \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{vmatrix}$.

Poichè il sistema è lineare $\underline{v} = Z\underline{i}$ oppure $\underline{i} = Y\underline{v}$ dove Z è la matrice delle impedenze e Y delle ammettenze

$$Z = \begin{vmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1N} \\ \vdots & \ddots & & \\ Z_{n1} & \cdots & & Z_{NN} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_N \end{vmatrix} \qquad \begin{vmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_N \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1N} \\ \vdots & \ddots & \\ Y_{N1} & & Y_{NN} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} V_1 \\ \\ V_N \end{vmatrix}$$

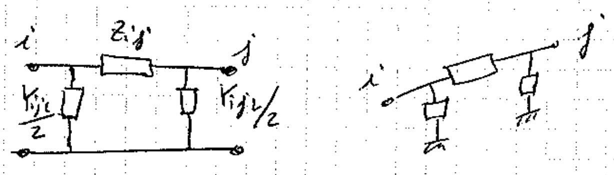
I termini sulla diagonale definiscono le ~~mutue~~ auto impedenze/ammettenze, mentre gli altri definiscono le mutue impedenze/ammettenze.

Se il sistema è normale $Z \cdot Y = Y \cdot Z = \mathbb{1}$ $\quad (Z = Y^{-1})$

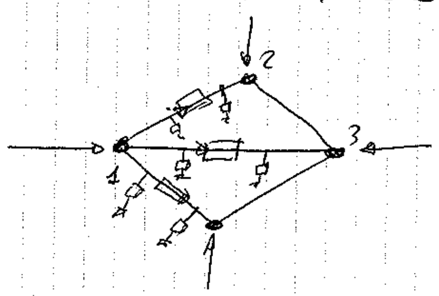
Se assegno le tensioni in tutti i nodi posso ricavare le correnti e vice=versa.

La descrizione della rete è sempre fatta in termini $\underline{i} = Y\underline{v}$

Consideriamo un generico collegamento:



Consideriamo il sistema:



$$I_1 = I_{12} + I_{13} + I_{14}$$

Consideriamo I_{12}:

$$I_{12} = \frac{Y_{12L}}{2} V_1 + \frac{V_1 - V_2}{Z_{12}}$$

$$I_{13} = \frac{Y_{13L}}{2} V_1 + \frac{V_1 - V_3}{Z_{13}} \qquad I_{14} = \frac{Y_{14L}}{2} V_1 + \frac{V_1 - V_4}{Z_{14}}$$

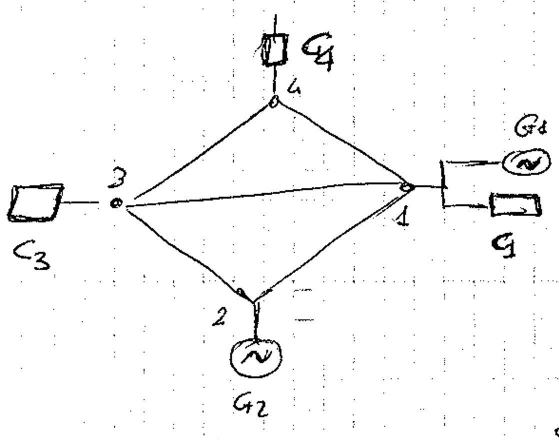
$$I_1 = \underbrace{\left[\frac{Y_{12L}}{2} + \frac{Y_{13L}}{2} + \frac{Y_{14L}}{2} + \frac{1}{Z_{12}} + \frac{1}{Z_{13}} + \frac{1}{Z_{14}}\right]}_{Y_{11}} V_1 - \underbrace{\frac{1}{Z_{12}}}_{Y_{12}} V_2 - \underbrace{\frac{1}{Z_{13}}}_{Y_{13}} V_3 - \underbrace{\frac{1}{Z_{14}}}_{Y_{14}} V_4$$

L'autoammettenza del nodo 1 è la somma delle ammettenze che convergono nel nodo 1.

Le mutue ammettenze è l'ammettenza tra i due nodi cambiata di segno. Ne segue che la matrice delle ammettenze è facile da scrivere.

La matrice Y è simmetrica $(Y_{12} = Y_{21})$.

La matrice delle ammettenze è molto sparsa. Questo significa che ci sono tanti zeri. Esempio: nel sistema precedente sono nulle le mutue ammettenze tra i nodi 2 e 4.
I carichi impongono le potenze attive e reattive che assorbono dalla rete.
Noi abbiamo i dati delle esigenze dei carichi ed i parametri della rete.
~~Supponiamo che~~ Il gestore può decidere la potenza immessa dal generatore e le tensioni ai morsetti.



Come assegniamo le potenze ai generatori? Fissiamo un valore per il generatore G_2. Il ~~tra le pot. totale~~ ~~pel~~ generatore G_1 fornirà la differenza ~~più~~ tra le pot. richieste e quella generata da G_1 più le perdite.

Data una configurazione di carico, parametri di funzionamento e dati della rete bisogna verificare lo stato di funzionamento e verificare che tutto stia nella fascia di ammissibilità.

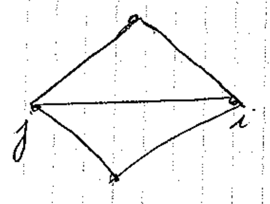
1) Bisogna caratterizzare i nodi.
Lo stato elettrico di un nodo è noto se si conoscono $(\underline{V_i}, \underline{I_i})$
Di solito è noto S_i e V_i $\Rightarrow$ $I_i = \left(\frac{S_i}{V_i}\right)^*$ (NOTA: lavoriamo con sistema per unità).
Ricordiamo che $S_i = S_{Gi} - S_{ci}$. Per ogni nodo ci sono sei scalari: P_{Gi}, Q_{Gi}, P_{ci}, Q_{ci}, V_i, δ_i. P_{ci} e Q_{ci} sono dati del problema al di fuori del nostro controllo.

Possiamo suddividere i nodi:

Tipo ~~nodo~~ nodo	Variabili assegnate	Variabili controllo	Variabili stato primarie	secondarie	Nodi esempio
PQ	P_{ci}, Q_{ci}	P_{Gi}, Q_{Gi}	V_i, δ_i	—	3, 4
PV	P_{ci}, Q_{ci}	P_{Gi}, V_i	δ_i	Q_{Gi}	1, 2
Slack / bilancio (1 e 1 solo)	P_{ci}, Q_{ci}	V_i, $\delta_i = 0$	—	P_{Gi}, Q_{Gi}	

Supponiamo di avere N_{PQ} nodi PQ e N nodi. Esempio $N = 1000$, $N_{PQ} = 600$.
Dovrò calcolare 1200 variabili per i nodi PQ, 399 variabili per i nodi PV. In totale ho 1599 incognite, di cui 999 fasi e 600 ~~tensioni~~ moduli di tensione.

Note: Q_{G1} non è una vera incognita perché noto P_{Gi}, V_i e δ_i si ricava subito Q_{Gi}



$$i_i = \sum_{j=1}^{n} y_{ij} V_j$$

$$S_i^* = V_i^* \sum_{j=1}^{N} y_{ij} V_j = S_{Gi} - S_{ci} = (P_{Gi} - P_{ci}) - j(Q_{Gi} - Q$$

$$= \sum_{j=1}^{N} V_i^* y_{ij} V_j$$

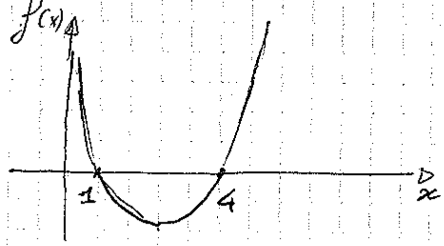
Possiamo dividere l'equazione in due parti:

$$\begin{cases} P_{Gi} - P_{ci} = \text{Real}\left[\sum V_i^* y_{ij} V_j\right] = \sum_{j=1}^{N} |V_i||y_{ij}||V_j| \cdot \cos(\delta_j - \delta_i + \varphi_{ij}) \\ Q_{Gi} - Q_{ci} = -\sum |V_i||y_{ij}||V_j| \cdot \sin(\delta_j - \delta_i + \varphi_{ij}) \end{cases}$$

Soluzione di equazioni non lineari

Esempio:

$$(x-1)(x-4) = 0 = x^2 - 5x + 4 = f(x)$$



Le risolviamo in modo iterativo (k indice di iterazione)

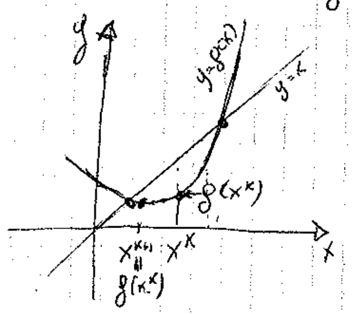
$k = 0 \quad x^{(0)} = x_0 \quad (=0)$

$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \Delta x^{(k)}$ (non è un elevamento a potenza)

Metodo di Gauss

io ho $f(x) = 0 \xRightarrow{\text{trasformo}} x = g(x)$ tale che

$x^{(k+1)} = g(x^{(k)})$ $\quad y = x \quad y = g(x)$



Creo una soglia di precisione ε e ritengo di essere in convergenza

se $\left|\frac{x^{(k+1)} - x^{(k)}}{x^{(k)}}\right| \% \leq \varepsilon \%$

Torniamo all'esempio

$$x^2 - 5x + 4 = 0 \Rightarrow x = \frac{\overbrace{x^2+4}^{g(x)}}{5}$$

$$\Rightarrow x = x^2 - 4x + 4 = \cancel{x+} (x-2)^2$$

Sistema di due equazioni

$$\begin{cases} 2x_1 + x_1 x_2 - 1 = 0 & = f_1(x_1, x_2) \\ 2x_2 - x_1 x_2 + 1 = 0 & = f_2(x_1, x_2) \end{cases}$$

$x_1^{(0)} = 0$

$x_2^{(0)} = 0$

$$\underline{f} = \begin{vmatrix} f_1(x_1,x_2) \\ f_2(x_1,x_2) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix} \qquad \underline{x} = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \end{vmatrix}$$

$$\underline{f}(\underline{x}) = \underline{0} \Rightarrow \underline{x} = \underline{g}(\underline{x})$$

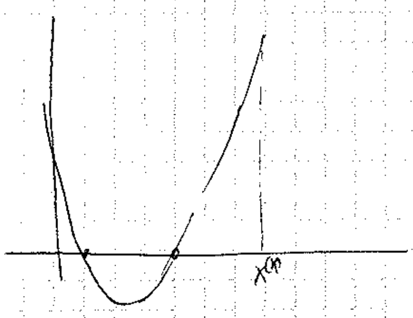
$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{1 - x_1 x_2}{2} \\ x_2 = \dfrac{x_1 x_2 - 1}{2} \end{cases}$$

	x_1	x_2
K=0	0	0
K=1	0,5	(-0,5)
K=2	0,625	-0,666

meglio usare il valore appena trovato di x_2 (ottengo -0,5)

Per velocizzare posso aggiungere dei coefficienti di accelerazione.

Metodo di Newton - Raphson



$x^2 - 5x + 4 = 0 = f(x)$

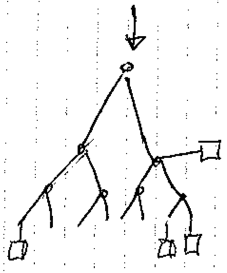
$2x - 5 = f'(x)$ ci dice se è crescente o decrescente.

$$f(x_0) = f(x) + \frac{\partial f}{\partial x}\Delta x + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}\Delta x^2 + \ldots$$

Supponiamo di interrompere la serie al 2° membro

$$0 = f(x) + \frac{\partial f}{\partial x}\Delta x \Rightarrow f(x) = -\frac{\partial f}{\partial x}\Delta x \qquad \Delta x = -\frac{f(x)}{\frac{\partial f}{\partial x}} = -J^{-1} f(x)$$

$$x^{(k)} \to f(x^k) \to J(x^k) \Rightarrow \Delta x^k = -J^{-1} f(x^k)$$



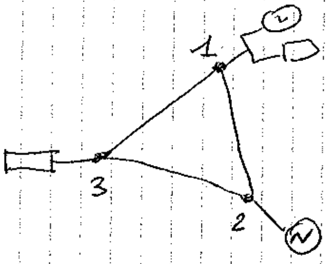
Torniamo al sistema magliato

$$S^* = V_i^* \sum_{j=1}^{p} y_{ij} V_j = V_i^* y_{ij} V_i + V_i^* \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N} y_{ij} V_j$$

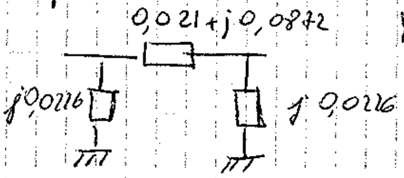
$$V_i = \left(\frac{1}{V_1^* y_{ij}} \right) \left\{ S_{G1}^* - S_{ci}^* - \sum y_{ij} V_j \right\}$$

Nei nodi PV eccetto la correzione sulla fase, ma non sul modulo.

<u>Esercizio numerico</u>



Dati: - parametri linee (tutte uguali)



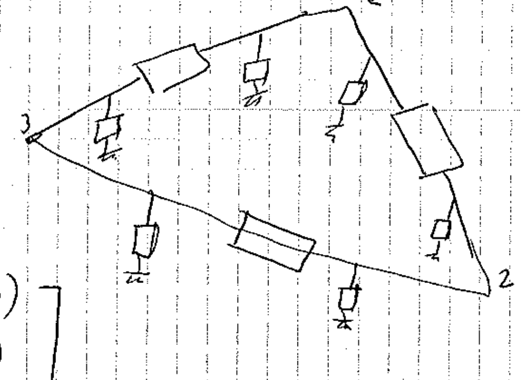
$Y = 2,61 + j\,10,8$

- Richieste carico

$C_1 = 2 + j\,1$; $C_3 = 1,2 + j\,0,6$

- grandezze di controllo

			~~V_1 1,05~~
1	slack	$\delta = 0$ $V_1 = 1{,}05$	
2	PV	$P_{G2} = 0{,}6$ $V_i = 1$	$\delta_2 = ?$
3	PQ	$P_{G3} = 0$ $Q_{G3} = 0$	$V_3 = ?$ $\delta_3 = ?$



$$Y = \begin{bmatrix} 5,22 - j\,21,55 & -(2,61 + j\,10,8) & -(2,61 + j\,10,8) \\ -(2,61 + j\,10,8) & 5,22 + j\,21,55 & -(2,61 + j\,10,8) \\ -(2,61 + j\,10,8) & -(2,61 + j\,10,8) & 5,22 - j\,21,55 \end{bmatrix}$$

Equazioni:

Nodo 2:
$$V_2 = \frac{1}{V_2^* \, y_{22}} \left(S_{G2}^* - S_{C2}^* - y_{21} V_1 - y_{23} V_3 \right)$$

$$V_3 = \frac{1}{V_3^* \, y_{33}} \left(S_{G3}^* - S_{C3} - y_{31} V_1 - y_{32} V_2 \right)$$

$Q_{G2} =$

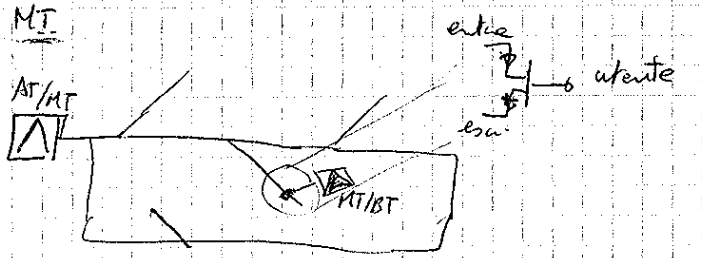
$K=0$
$$\begin{cases} V_2 = 1 \angle 0 \\ V_3 = 1 \angle 0 \end{cases}$$

$K=1$
$$\begin{cases} V_2^{(1)} = \\ V_3^{(1)} = \end{cases}$$

Sistemi con esercizio radiale

Reti di distribuzione MT-BT possono essere radiali o magliate.

MT

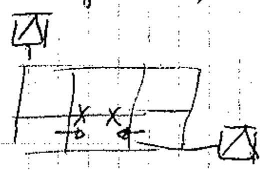


Vengono realizzate diverse maglie secondo il principio della sicurezza alla $(n-1)$

Italia si usa esercizio radiale

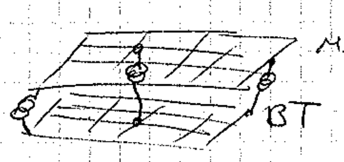
USA: magliato

In un esercizio radiale il verso delle correnti di guasto è ben definito, nell'esercizio magliato no

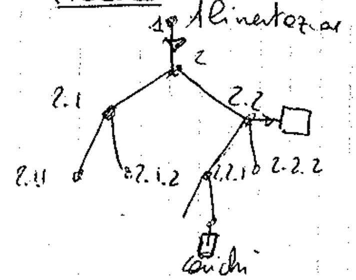


B.T. stessa situazione della M.T. In generale per la B.T. in Italia si usano solo reti radiali.

Nelle grandi città USA si usano anche reti magliate. Classica situazione:



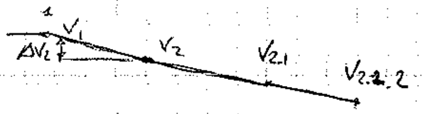
Italia



Il verso di scorrimento delle correnti è ben definito.

Conosciamo i carichi $S_c = P_c + jQ_c$. Conosciamo i parametri delle linee / Conosciamo V_1 e vogliamo ricavare le tensioni in tutti i nodi; le correnti in tutti i rami ($\Rightarrow$ perdite I^2R in ogni ramo).

Questo è il caso di LOAD-FLOW radiale.



$$V_2 = V_1 - Z_{12} I_{12}$$

Devo verificare che data V_1 la $V_{2.1.2}$ deve essere nella fascia di ammissibilità.

Per trovare il punto di funzionamento usiamo il metodo Backward-Forward.

Parto mettendo tutte le tensioni uguali a V_1 e fase uguale.
La prima iterazione è dal basso verso l'alto

$S_c = V_c I_c^*$ Quindi posso calcolare le correnti di tutti i rami finali. Note le correnti nei rami finali posso calcolare ~~tutte~~ le correnti in tutti i rami. Ora posso ridiscendere (conoscendo le correnti posso calcolarmi le cadute di tensione. Posso così aggiornare il valore delle tensioni sui nodi. Rifaccio l'iterazione basso-alto e ricalcolo tutte le correnti e così via.