

VERIFICA IMPIANTI ELETTRICI MONOFASE.

Vedremo come passare dal sistema fisico originario al modello circuitale, quindi il suo dimensionamento e la sua verifica.

Rete monofase → reti in cui è presente una sola fase, quindi un solo generatore, nel caso in cui sono presenti più generatori, deve comunque verificarsi che le tensioni, devono essere comunque in fase. Queste reti, sono il modello circuitale degli impianti elettrici monofase come ad esempio quelli domestici, in cui il conduttore di ritorno è rappresentato dal conduttore di neutro. Possono essere reti che alimentano piccole utenze, a cui possono essere connessi anche sistemi di generazione distribuita quali pannelli fotovoltaici, per cui sulle reti possono essere presenti sia elementi attivi che elementi passivi.

Nota: i pannelli fotovoltaici, "prosumer" (utente sia attivo che passivo), possono creare problemi importati in alcune configurazioni impiantistiche. Se ad esempio sono installati alla fine di una linea piuttosto lunga e hanno potenze relativamente importanti, per il fatto di essere monofase e non trifase, possono dar luogo a delle sovratensioni anche piuttosto importanti che sollecitano in maniera impropria tutte le utenze collegate a quella linea fino alla sbarra della cabina secondaria. Queste sovratensioni possono attivare le protezioni che possono portare anche al distacco dell'inverter anche nelle ore di punta della produzione quindi non riusciremmo ad immettere corrente nella rete, quindi ad ammortare l'investimento. In questi casi, per risolvere il problema, si deve:

Sostituire la linea oppure passare ad una connessione trifase.

RETI MONOFASE:

Hanno di solito un unico collegamento alla rete e si origina in mediamente a valle del punto di consegna. (Per le utenze domestiche, immediatamente a valle del contatore. Ai morsetti del contatore, inizia quindi il piano elettrico quindi la responsabilità del progettista).

Nella realizzazione del modello circuitale che rappresenta un impianto monofase, dobbiamo individuare per ciascun componente dell'impianto il modello equivalente:

PUNTO DI CONSEGNA: solitamente non avendo alcuna informazione su ciò che c'è a monte del punto di consegna, dobbiamo limitarci a rappresentare il punto di consegna mediante una RETE RIGIDA, ovvero un generatore ideale di tensione (componente in grado di erogare una potenza infinita mantenendo invariata la tensione ai suoi morsetti). Se si hanno informazioni fornite dalla società fornitrice di ciò che è a monte del punto di consegna, possiamo effettuare una rappresentazione più accurata del punto di consegna mediante l'equivalente di THEVENIN.

In assenza di informazioni sulla rete a monte, rappresentare il punto di consegna mediante una rete rigida può creare dei problemi in fase di dimensionamento?

Potrebbe, quindi utilizzeremo dei coefficienti che ci consentiranno di operare in sicurezza tenendo conto in qualche modo di quello che è a monte.

LINEE: ovvero scegliere in maniera opportuna la sezione dei conduttori con cui andremo a realizzare le nostre linee, (oltre che i passaggi, le caratteristiche di isolamento in funzione dell'ambiente in cui saranno posate le linee) rispettando quanto prescritto dalle norme.

Noi considereremo comunque solo linee dei circuiti di distribuzione, quadro-quadro, e non considereremo le linee dei circuiti terminali.

Queste linee sono tipicamente a tre conduttori:

- Fase (marrone, nero, grigio)
- Neutro (blu) (se i carichi sono equilibrati, questo sta a potenziale di riferimento)
- Conduttore di protezione (con la funzione di distribuire all'interno del nostro impianto il potenziale di riferimento, ovvero quello di terra).

Per ognuno di questi sono tabellate le sezioni minime per questi conduttori.

CARICHI:

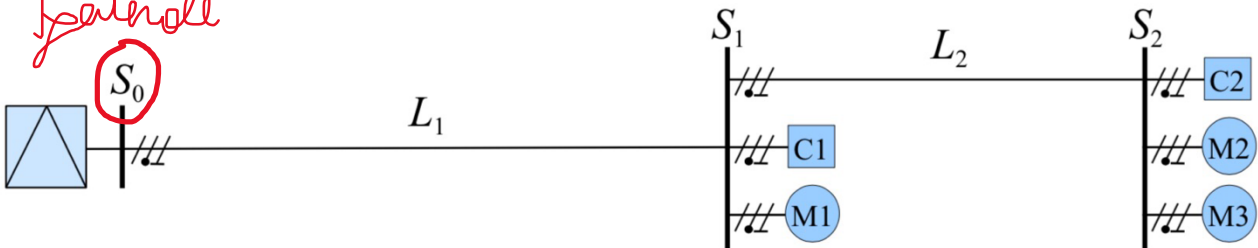
Possono essere modellati sia mediante un'impedenza di tipo resistivo/induttivo, sia mediante un generatore ideale di tensione o corrente opportunamente scelto. (Anche nel caso di un utente attivo quale potrebbe essere un pannello fotovoltaico possiamo indistintamente rappresentarlo sia mediante un'impedenza (di sola parte reale, resistiva, negativa) o un generatore. Detto questo è preferibile rispettare la

natura del bipolarismo nel modellare il componente fisico reale, ma è bene sapere che sono possibili entrambe le cose.

ESEMPIO NUMERICO:

Nel punto di fornitura dell'energia in BT di una utenza monofase è nota la potenza di c.to c.to ed il f.d.p. di c.to c.to.. La sottostante rete monofase alimenta, attraverso due linee, alcuni carichi come rappresentato nello schema unifilare (i.e., *schema in cui vengono riportati tutti i componenti dell'impianto ed i loro collegamenti, quest'ultimi sono rappresentati mediante una sola linea su cui sono indicati, attraverso opportuni simboli, il numero ed il tipo dei conduttori che la compongono*). Di seguito sono riportati i dati dell'impianto.

energia generale



/ Fase \ Neutro / PE

<p>Rete $U_n = 230 \text{ V}$ $f = 50 \text{ Hz}$ $S_{cc} = 3440 \text{ kVA}$ $\cos \varphi_{cc} = 0.33 \rightarrow \text{BONO}$ $\cos \varphi_r = 0.92$</p> <p>Linea L1 $L_1 = 30 \text{ m } (S = 35 \text{ mm}^2)$ $r'_{l_1} = 0.654 \text{ m } \Omega / \text{m}$ $x'_{l_1} = 0.0783 \text{ m } \Omega / \text{m}$</p> <p>Carico C1 $U_n = 230 \text{ V}$ $P_{C1} = 1.5 \text{ kW}$ $(\cos \varphi_{C1} = 0.9)$</p> <p>Carico M1 $U_n = 230 \text{ V}$ $P_{m1} = 2.4 \text{ CV}$ $\cos \varphi_{m1} = 0.78$ $\eta_{m1} = 0.76$ $\text{num. motori} = 2$</p>	<p>Linea L2 $L_2 = 20 \text{ m } (S = 16 \text{ mm}^2)$ $r'_{l_2} = 1.43 \text{ m } \Omega / \text{m}$ $x'_{l_2} = 0.0817 \text{ m } \Omega / \text{m}$</p> <p>Carico C2 $U_n = 230 \text{ V}$ $P_{C2} = 4.5 \text{ kW}$ $(\cos \varphi_{C2} = 0.9)$</p> <p>Carico M2 $U_n = 230 \text{ V}$ $P_{m2} = 0.85 \text{ CV}$ $\cos \varphi_{m2} = 0.75$ $\eta_{m2} = 0.63$ $\text{num. motori} = 6$</p> <p>Carico M3 $U_n = 230 \text{ V}$ $P_{m3} = 1.8 \text{ CV}$ $\cos \varphi_{m3} = 0.76$ $\eta_{m3} = 0.75$ $\text{num. motori} = 2$</p>
--	---

che mi sono dimenticato elettrico

POTENZA DI CORTOCIRCUITO: non ha un riscontro fisico perché è per definizione il rapporto tra tensione a vuoto e la corrente di cortocircuito in quel punto. Queste sono due grandezze che fisicamente non coesisteranno mai nello stesso punto però è importante perché questo valore sintetizza grandezze elettriche che possiamo usare per caratterizzare la rete di monte.

Notiamo come le linee siano già completamente caratterizzate, per cui il progetto è stato già fatto, anche se questa è ancora una fase preliminare, il progetto non si esaurisce quando sono state determinate le linee, bisogna anche scegliere le protezioni e coordinarli, per cui la scelta di questi conduttori potrebbe rivelarsi non corretta.

EQUIVALENTI CIRCUITALI:

-Rete elettrica di monte: come abbiamo già detto, in assenza di informazioni fornite dalla società elettrica fornitrice, dovremmo fermarci alla modellazione mediante un generatore ideale di tensione con una fem pari alla tensione nominale dell'impianto, 230V. (Questa tensione la metteremo a riferimento sull'asse reale). In questo caso però tra i dati forniti dal problema, troviamo anche la potenza di cortocircuito ed il fattore di potenza di cortocircuito, possiamo determinare anche la parte reale ed immaginaria dell'impedenza che caratterizza la rete di monte:

$$E_r = 230 \cdot k = 230 \text{ V} \quad (k = 1) \quad I_{cc} = \frac{S_{cc}}{E_r} = 14.956 \text{ kA}$$

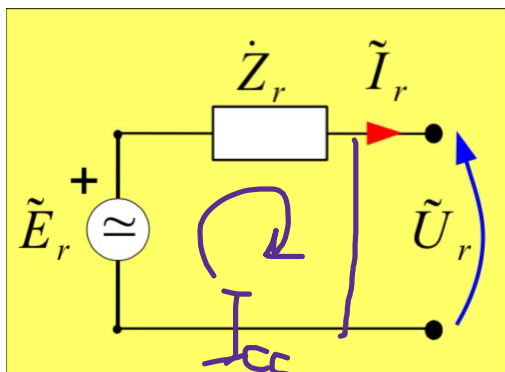
$$Z_r = \frac{E_r}{I_{cc}} = \frac{E_r^2}{S_{cc}} = 15.378 \text{ m}\Omega \quad \varphi_{cc} = \arccos(0.33) = 1.234 \text{ rad}$$

$$R_r = Z_r \cos \varphi_{cc} = 5.075 \text{ m}\Omega \quad X_r = Z_r \sin \varphi_{cc} = 14.516 \text{ m}\Omega$$

$$\tilde{E}_r = E_r + j0 = 230 \text{ V} \quad \tilde{Z}_r = R_r + jX_r = 5.075 + j14.516 \text{ m}\Omega$$

Notiamo come per calcolare $E(r)$, abbiamo utilizzato un coefficiente che abbiamo posto pari ad 1; in realtà, se non si hanno dati a disposizione per caratterizzare la rete di monte, e si ha la necessità per la scelta gli interruttori di calcolare la corrente di cortocircuito minima e massima, K assume due valori che ci consentono di metterci in sicurezza: Per il calcolo di CC di minima possiamo usare $K=0.8$, così da tenere in conto delle cadute di tensione a monte pur non conoscendole. Per il calcolo del CC max, useremo $K=1.1$, ovvero incrementeremo il valore della tensione in quel punto del 10%, tanto sappiamo che per norma la tensione nominale sarà fornita al più con un 10% in più (o meno)

Frutto dell'applicazione dell'equivalente di THEVENIN della rete di monte:



Dell'impedenza Z_r possiamo anche separare parte reale ed immaginaria, cosa che in questo caso possiamo fare perché abbiamo il fattore di potenza di cortocircuito. Se non avessimo avuto il fattore di potenza di CC per ottenere questi due valori avremmo potuto o stimarlo, oppure immaginare che l'impedenza sia completamente reattiva, in quanto solitamente prevale su quella resistiva.

Il fattore di potenza di cortocircuito è di 0,33 perché siamo a valle del trasformatore, ma, a meno che il fattore di potenza è ancora più basso 0,15-0,22 per cui se assumiamo una reattanza equivalente non commettiamo un errore grandissimo.

CONDUTTURE:

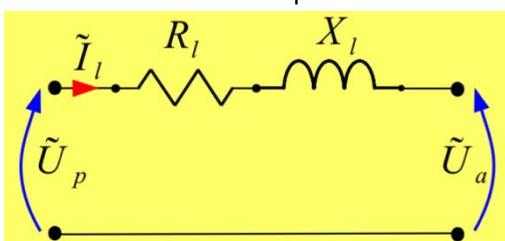
Equivalente delle linee (cavi multipolari in tubo interrato in PVC, 70°C):

Linea 1 ($S=35 \text{ mm}^2, I_z=115 \text{ A}$) : **Linea 2** ($S=16 \text{ mm}^2, I_z=73 \text{ A}$) :

$$R_{l_1} = 2 \cdot r'_{l_1} \cdot L_1 = 39.240 \text{ m}\Omega \quad \text{andate} \quad R_{l_2} = 2 \cdot r'_{l_2} \cdot L_2 = 57.200 \text{ m}\Omega$$

$$X_{l_1} = 2 \cdot x'_{l_1} \cdot L_1 = 4.698 \text{ m}\Omega \quad \text{e tutto} \quad X_{l_2} = 2 \cdot x'_{l_2} \cdot L_2 = 3.268 \text{ m}\Omega$$

La portata al limite termico delle linee è legata alle condizioni di esercizio della linea, su passerella, interrato ecc, che le norme prendono in considerazione e che rispetto alle condizioni di posa forniscono dei coefficienti di penalizzazione della portata la cui applicazione fornisce nel caso specifico una portata di 115 A. Questo implica che sui dati di taratura del conduttore potrebbero comparire valori diversi, perché relativi a diversa condizione di posa o di valutazione.



Ogni costruttore, fornisce delle tabelle che caratterizzano i proprio prodotti:

Tabella T-E : cavi unipolari con e senza guaina e cavi multipolari (1)																						
Metodologia tipica di installazione	Altri tipi di posa della CEI 64-8	Tipo di isolam.	N. cond.	Portata [A] Sezione [mm ²]																		
				1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	630
cavi unipolari in tubi interrati a contatto (1 cavo per tubo)	PVC		2	22	29	38	47	63	82	105	127	157	191	225	259	294	330	386				
			3	20	26	34	43	57	74	95	115	141	171	201	231	262	293	342				
	EPR		2	26	34	44	54	73	95	122	148	182	222	261	301	343	385	450	509	592	666	759
			3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340	397	448	519	583	663
cavi unipolari in tubo interrato	61	PVC	2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328	385				
			3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277	325				
	EPR		2	24	32	41	52	70	91	118	144	178	218	258	298	340	383	450	510	595	671	767
			3	21	27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323	379	429	500	565	645
cavi multipolari in tubo interrato	61	PVC	2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307	360				
			3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259	304				
	EPR		2	23	30	39	49	66	86	111	136	168	207	245	284	324	364	428				
			3	19	25	32	41	55	72	93	114	141	174	206	238	272	306	360				

(1) PVC: mescola termoplastica a base di polivinilcloruro (temperatura massima del conduttore uguale a 70°C; EPR: mescola elastomerica reticolata a base di gomma etilene-propilene o similari (temperatura massima del conduttore uguale a 90°C)

Resistenza e reattanza specifica dei cavi unificati (Tabella UNEL 35023-70) (1)																	
sez. [mm ²]	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	
cavo unipolare																	
r [mΩ/m]	14,8	8,91	5,57	3,71	2,24	1,41	0,889	0,641	0,473	0,328	0,236	0,188	0,153	0,123	0,0943	0,0761	
x [mΩ/m]	0,168	0,156	0,143	0,135	0,119	0,112	0,106	0,101	0,101	0,0965	0,0975	0,0939	0,0928	0,0908	0,0902	0,0895	
cavo bipolare, tripolare																	
r [mΩ/m]	15,1	9,08	5,68	3,78	2,27	1,43	0,907	0,654	0,483	0,334	0,241	0,191	0,157	0,125	0,0966	0,0780	
x [mΩ/m]	0,118	0,109	0,101	0,0955	0,0861	0,0817	0,0813	0,0783	0,0779	0,0751	0,0762	0,0740	0,0745	0,0742	0,0752	0,0750	

(1) Materiale conduttore: rame, temperatura di riferimento 80°C.

CARICHI:

Abbiamo due tipologie, quelli derivati da punti luce e prese a spina, quelli dai motori;

Dalla potenza attiva e fattore di potenza, possiamo calcolare potenza reattiva, corrente nominale, impedenza, con relative parte im e re, partendo però dal presupposto che il carico sia alimentato dalla tensione nominale. È sbagliato questo? Sì perché ai carichi arriverà una tensione certamente inferiore ma di quanto? Pochissimo, perché come vincolo normativo dobbiamo comunque rispettare che tra il punto di consegna ed il punto elettricamente più lontano ci sia al più una caduta di tensione del 4%, per cui l'errore commesso non è rilevante.

Equivalente dei carichi (utenze luce e f.m.):

$$\begin{aligned} \text{Carico 1 : } \varphi_{C1} &= \arccos(0.9) = 0.451 & Q_{C1} &= P_{C1} \tan(\varphi_{C1}) = 1.695 \text{ kVAr} \\ I_{C1} &= \frac{P_{C1} \cdot 10^3}{U_n \cos \varphi_{C1}} = 16.901 \text{ A} & Z_{C1} &= \frac{U_n}{I_{C1}} = \frac{U_n^2 \cos \varphi_{C1}}{P_{C1} \cdot 10^3} = 13.603 \Omega \\ R_{C1} &= Z_{C1} \cos \varphi_{C1} = \frac{P_{C1}}{I_{C1}^2} = 12.243 \Omega & X_{C1} &= Z_{C1} \sin \varphi_{C1} = \frac{Q_{C1}}{I_{C1}^2} = 5.929 \Omega \end{aligned}$$

Generatore di corrente

$$\begin{aligned} \tilde{U}_n &= U_n + j0 = 230 \text{ V} & \dot{S}_{C1} &= P_{C1} + jQ_{C1} \\ \tilde{J}_{C1} &= I_{C1} e^{-j\varphi_{C1}} = I_{C1} \cos \varphi_{C1} - j I_{C1} \sin \varphi_{C1} = \left(\frac{\dot{S}_{C1}}{\tilde{U}_n} \right)^* = 15.217 - j7.370 \text{ A} \end{aligned}$$

Impedenza

$$\dot{Z}_{C1} = R_{C1} + jX_{C1} = \frac{\tilde{U}_n}{\tilde{J}_{C1}} = 12.243 + j5.929 \Omega$$

A usato punti possiamo decidere come rappresentare il carico, se tramite l' impedenza equivalente, che assorbe la potenza nominale attiva e reattiva del carico se sottoposto alla tensione nominale, o un generatore ideale di corrente che assorbe in quel punto la corrente nominale essendo alimentato dalla tensione nominale. Ad esempio per il carico 2 potremmo adottare queste due configurazioni:

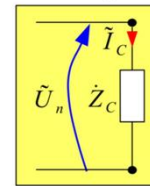
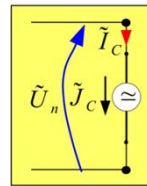
Carico 2 : Generatore di corrente

$$\tilde{J}_{C2} = 15.217 - j 7.370 \text{ A}$$

Impedenza

$$\dot{Z}_{C2} = 12.243 + j 5.929 \Omega$$

Generatore di corrente Impedenza equivalente



Per quanto riguarda i motori, dobbiamo solo tener conto del fatto che la potenza del carico viene fornita mediante quella disponibile all'asse; per ottenere i W equivalenti dobbiamo circa moltiplicare per 736:

Motori 1 : $P_{M1} = 2 \cdot P_{m1} \cdot 736$

$$\varphi_{M1} = \arccos(0.78) = 0.676$$

$$I_{M1} = \frac{P_{M1} \cdot 10^3}{U_n \cos \varphi_{M1}} = 26.404 \text{ A}$$

$$R_{M1} = Z_{M1} \cos \varphi_{M1} = \frac{P_{M1}}{I_{M1}^2} = 6.794 \Omega$$

Generatore di corrente

$$\tilde{U}_n = U_n + j 0 = 230 \text{ V}$$

$$\tilde{J}_{M1} = I_{M1} e^{-j\varphi_{M1}} = I_{M1} \cos \varphi_{M1} - j I_{M1} \sin \varphi_{M1} = \left(\frac{\dot{S}_{M1}}{\tilde{U}_n} \right)^* = 20.595 - j 16.523 \text{ A}$$

Impedenza

$$\dot{Z}_{M1} = R_{M1} + j X_{M1} = \frac{\tilde{U}_n}{\tilde{J}_{M1}} = 6.794 + j 5.451 \Omega$$

$$P_{M1} = \frac{P_{M1}}{\eta_{m1}} = 4736.842 \text{ W}$$

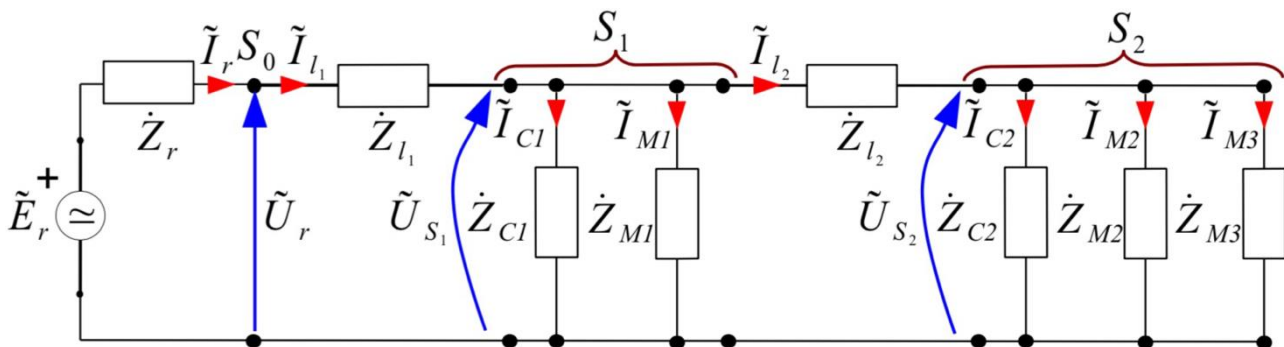
$$Q_{M1} = P_{M1} \tan(\varphi_{M1}) = 3800.280 \text{ VAR}$$

$$Z_{M1} = \frac{U_n}{I_{M1}} = \frac{U_n^2 \cos \varphi_{M1}}{P_{M1} \cdot 10^3} = 8.711 \Omega$$

$$X_{M1} = Z_{M1} \sin \varphi_{M1} = \frac{Q_{M1}}{I_{M1}^2} = 5.451 \Omega$$

$$\dot{S}_{M1} = P_{M1} + j Q_{M1}$$

A questo punto possiamo costruire il nostro circuito elettrico equivalente:



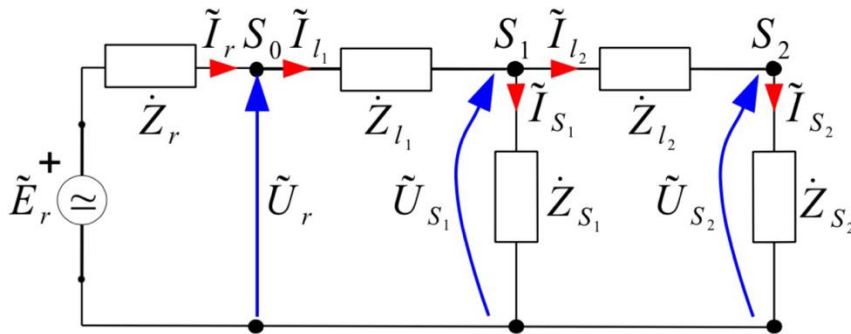
Ora possiamo fare l'analisi della rete equivalente per effettuare la verifica delle linee:

La caduta di tensione deve essere nel punto più lontano rispetto al punto di consegna al più del 4% .

Le correnti di impiego siano inferiori delle portate nominali al limite termico dei cavi.

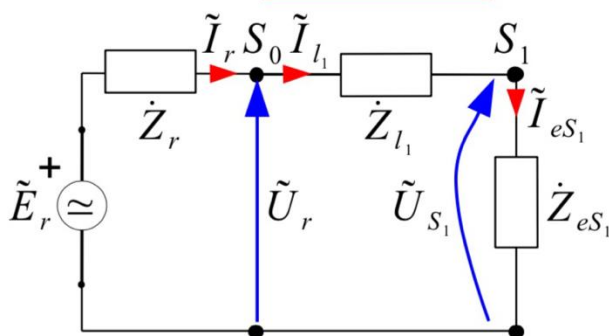
Queste verifiche si possono effettuare o risolvendo la rete, oppure attraverso l'approccio impiantistico che abbiamo studiato nella seconda parte del corso.

RISOLVIAMO LA RETE: (potremmo usare sia maglie, sia nodi, oppure potremmo semplificare la rete passiva fino ad un solo ramo, quindi la corrente erogata dal generatore, e a ritroso tutte le tensioni e le correnti di lato, (lui ha fatto così))



$$\begin{aligned} \dot{Z}_{S_1} &= \dot{Z}_{C1} \parallel \dot{Z}_{M1} = \\ &= 4.444 + j 2.965 \Omega \\ \dot{Z}_{S_2} &= \dot{Z}_{C2} \parallel \dot{Z}_{M2} \parallel \dot{Z}_{M3} = \\ &= 2.431 + j 1.816 \Omega \\ \dot{Z}_{eS_1} &= (\dot{Z}_{l_2} + \dot{Z}_{S_2}) \parallel \dot{Z}_{S_1} = \\ &= 1.596 + j 1.129 \Omega \end{aligned}$$

$$\tilde{I}_r = \tilde{I}_{l_1} = \tilde{I}_{eS_1}$$



$$\tilde{I}_r = \frac{\tilde{E}_r}{\dot{Z}_r + \dot{Z}_{l1} + \dot{Z}_{eS1}} = 94.106 - j 65.874 \text{ A}$$

$$\tilde{U}_r = \tilde{E}_r - \dot{Z}_r \tilde{I}_r = 228.566 - j 1.032 \text{ V}$$

$$\tilde{U}_{S_1} = \tilde{U}_r - \dot{Z}_{l_1} \tilde{I}_{l_1} = 224.564 + j 1.111 \text{ V}$$

$$\tilde{I}_{S_1} = \frac{\tilde{U}_{S_1}}{\dot{Z}_{S_1}} = 35.081 - j 23.155 \text{ A}$$

$$\tilde{I}_{l_2} = \tilde{I}_{l_1} - \tilde{I}_{S_1} = 59.024 - j 42.718 \text{ A}$$

$$\tilde{U}_{S_2} = \tilde{U}_{S_1} - \dot{Z}_{l_2} \tilde{I}_{l_2} = 221.048 + j 3.362 \text{ V}$$

Tutte le tensioni sui punti di consegna, le impedenze, le correnti sono tutte determinate fasorialmente, perché stiamo utilizzando il metodo simbolico.

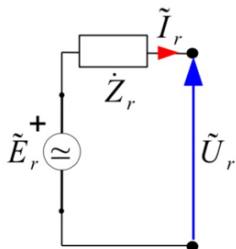
Qual è la caduta di tensione sui carichi interconnessi alla sbarra 2?

Certamente possiamo calcolarla come la differenza tra i valori efficaci della tensione nominale del carico - tensione di alimentazione. (230-valore che potremmo misurare con un voltmetro)

Un altro modo sarebbe fare la somma delle cadute di tensioni sulle linee.

Tra i due modi di calcolo riscontreremmo due valori leggermente diversi perché anche concettualmente sono due cose diverse, nel primo caso stiamo calcolando effettivamente la caduta di tensione sul carico, nel secondo caso, la caduta di tensione sulle linee ed i valori non coincidono perché per ottenere lo stesso valore, dobbiamo partire non dal punto di consegna, ma dal generatore ideale di tensione, se partissimo dal punto di consegna non terremmo conto della caduta di tensione di monte, infatti sul punto di consegna la tensione non sarà mai 230V ma sempre leggermente inferiore.

Caratterizzazione del punto di consegna (sbarra S0)



$$\tilde{E}_r = 230 + j 0 \text{ V} = 230 e^{j0} = 230 \angle 0^\circ \text{ V}$$

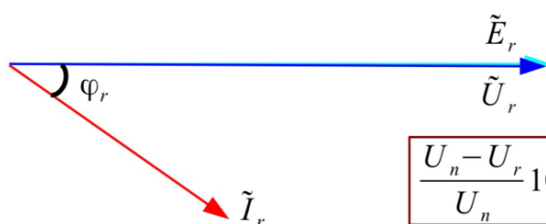
$$\tilde{I}_r = 94.106 - j 65.874 \text{ A} = 114.870 e^{-j0.611} = 114.870 \angle -35^\circ \text{ A}$$

$$\tilde{U}_r = 228.566 - j 1.032 \text{ V} = 228.568 e^{-j0.0045} = 228.568 \angle 0.258^\circ \text{ V}$$

$$\dot{S}_r = \tilde{U}_r \tilde{I}_r^* = P_r + j Q_r = 21.577 + j 14.959 \text{ (kW, kVAr)}$$

$$S_r = \sqrt{P_r^2 + Q_r^2} = 26.256 \text{ kVA} \quad \cos \varphi_r = \cos \left[\arctan \left(\frac{Q_r}{P_r} \right) \right] = 0.82$$

**CARICHI I
PERDITE N
LINEA**



Questo diagramma fasoriale è in scala, vediamo come E_r, U_r sono praticamente sovrapponibili

$$\frac{U_n - U_r}{U_n} 100 = \frac{230 - 228.568}{230} 100 = 0.62\%$$

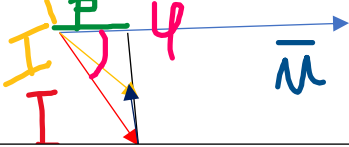
In questo caso il fattore di potenza può essere calcolato come l'argomento dell'impedenza equivalente vista da quel punto perché siamo in MONOFASE, e l'unico motivo per cui la corrente è sfasata rispetto alla tensione è legata all'argomento dell'impedenza. Il consiglio è però di calcolare i fattori di potenza come coseno dell'arcotangente del rapporto tra la potenza reattiva su attiva che transita su quella sezione

C.D.T rispetto la nominale molto piccola

Il fattore di potenza che otteniamo sul punto di consegna, 0.82, è abbastanza basso, bisogna quindi rifasare per innalzare il fattore di potenza nel punto di consegna al valore di norma di 0,95.

Quali sono i problemi di un basso fattore di potenza?

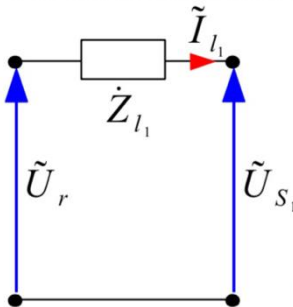
Aumentano le perdite in linea, quindi le dissipazioni, per cui dalla centrale bisognerà erogare più potenza, ovvero spendere più soldi per la fornitura. Aumentano anche le cadute di tensione sulla linea della società fornitrice:



Rifasando si riduce anche il valore efficace della corrente da cui dipendono le perdite in linea e la caduta di tensione

La caduta di tensione a monte è prodotta dal valore efficace della corrente, perché questa in un sistema trifase è esprimibile come:
Questo fastidi non sono provocati dalla società fornitrice, ma dall'utente che assorbe una corrente troppo sfasata rispetto la tensione. Inserendo un condensatore, questo introdurrà una componente in quadratura in anticipo rispetto alla tensione così che la risultante della corrente che la società eroga nel punto di consegna un corrente con un angolo molto minore ma NB l'utente continuerà ad assorbire sempre la stessa corrente, anche dopo aver rifasato.

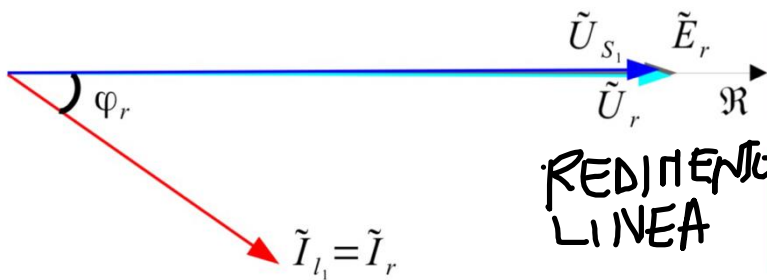
Caratterizzazione della linea L1



$$\begin{aligned} \tilde{U}_r &= 228.566 - j1.032 \text{ V} = 228.568 e^{-j0.0045} = 228.568 / -0.258^\circ \text{ V} \\ \tilde{U}_{S_1} &= 224.564 + j1.111 \text{ V} = 224.567 e^{j0.0049} = 224.567 / 0.281^\circ \text{ V} \\ \tilde{I}_{L_1} &= 94.106 - j65.874 \text{ A} = 114.870 e^{-j0.611} = 114.870 / -35^\circ \text{ A} \\ \dot{S}_{L_1} &= \dot{Z}_{L_1} I_{L_1}^2 = P_{L_1} + jQ_{L_1} = 517.776 + j61.991 \text{ (W, VAR)} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{L_1} = U_r - U_{S_1} = 228.568 - 224.567 = 4.001 \text{ V (1.74\%)}$$

perdite



N.B. La corrente è al limite termico del cavo.

RENDIMENTO LINEA

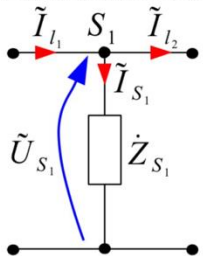
$$\eta_{L_1} = \left(1 - \frac{P_{L_1}}{P_r}\right) 100 = 97.6\%$$

$$= \frac{P_2 - P_1}{P_2}$$

Tensione in partenza ed in arrivo sulla linea differiscono per pochissimo, per cui quando applichiamo la formula dei momenti amperometrici per la caduta di tensione sulla linea, l'errore che commettiamo è praticamente 0.

CARICO:

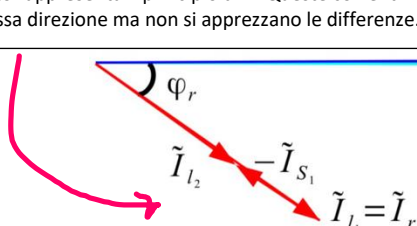
Caratterizzazione della sbarra S1



$$\begin{aligned} \tilde{U}_{S_1} &= 224.564 + j1.111 \text{ V} = 224.567 e^{j0.0049} = 224.567 / 0.281^\circ \text{ V} \\ \tilde{I}_{L_1} &= 94.106 - j65.874 \text{ A} = 114.870 e^{-j0.611} = 114.870 / -35^\circ \text{ A} \\ \tilde{I}_{S_1} &= 35.081 - j23.155 = 42.034 e^{-j0.583} = 42.034 / -33.40^\circ \text{ A} \\ \tilde{I}_{L_2} &= 59.024 - j42.718 = 72.861 e^{-j0.626} = 72.861 / -35.87^\circ \text{ A} \\ \frac{U_n - U_{S_1}}{U_n} 100 &= \frac{230 - 224.567}{230} 100 = 2.36\% \end{aligned}$$

Questa potenza, potevamo calcolarla anche come somma delle potenze dei motori e il resto delle cose collegate alla sbarra S1 tuttavia otterremmo un valore leggermente superiore perché? Perché nel calcolo mediante il circuito, la tensione ai capi della sbarra non sarà quella nominale ma ancora leggermente inferiore.

Questo rappresenta il principio di K. Queste correnti non hanno la stessa direzione ma non si apprezzano le differenze.

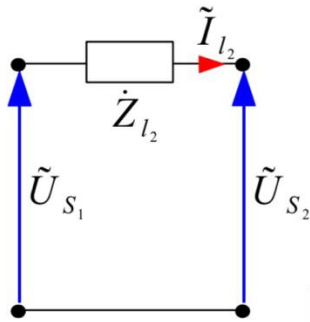


$$\begin{aligned} \tilde{U}_{S_1} &= \tilde{E}_r \\ \tilde{U}_r &= \tilde{E}_r \\ \varphi_{eS_1} &= \arg(\dot{Z}_{eS_1}) = 0.616 \text{ rad} \\ \cos \varphi_{eS_1} &= 0.82 \end{aligned}$$

$$\dot{S}_{S_1} = \tilde{U}_{S_1} \tilde{I}_{S_1}^* = 7.852 + j5.239 \text{ (kW, kVAR)}$$

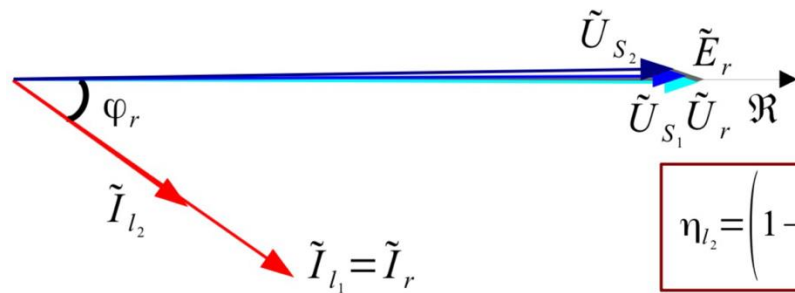
Stessa cosa per l'altra linea e la seconda sbarra:

Caratterizzazione della linea L2



$$\begin{aligned} \tilde{U}_{S_1} &= 224.564 + j1.111 \text{ V} = 224.567 e^{j0.0049} = 224.567 / 0.281^\circ \text{ V} \\ \tilde{U}_{S_2} &= 221.048 + j3.362 \text{ V} = 221.074 e^{j0.0152} = 221.074 / 0.871^\circ \text{ V} \\ \tilde{I}_{L_2} &= 59.024 - j42.718 = 72.861 e^{-j0.626} = 72.861 / -35.87^\circ \text{ A} \\ \dot{S}_{L_2} &= \dot{Z}_{L_2} \tilde{I}_{L_2}^2 = P_{L_2} + jQ_{L_2} = 303.659 + j17.349 \text{ (W, VAr)} \end{aligned}$$

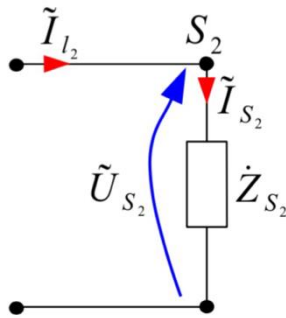
$$\Delta U_{L_2} = U_{S_1} - U_{S_2} = 224.567 - 221.074 = 3.493 \text{ V} \quad (1.52\%)$$



N.B. La corrente è al limite termico del cavo.

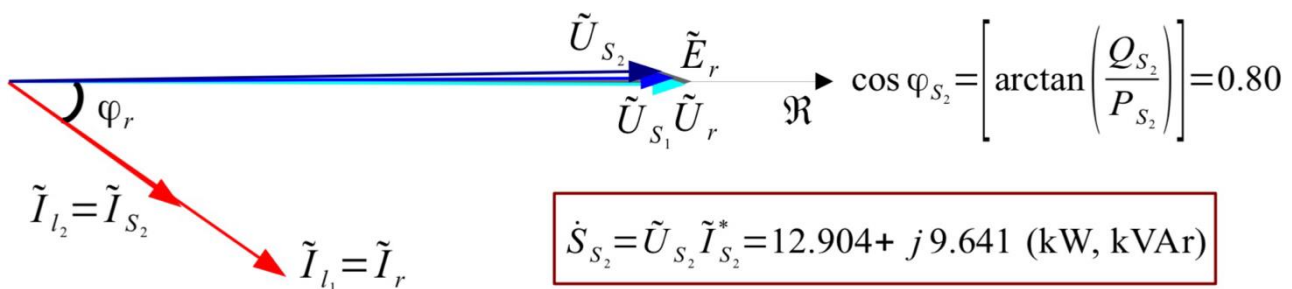
$$\eta_{L_2} = \left(1 - \frac{P_{L_2}}{P_r - P_{L_1} - P_{S_1}} \right) 100 = 97.7\%$$

Caratterizzazione della sbarra S2



$$\begin{aligned} \tilde{U}_{S_2} &= 221.048 + j3.362 \text{ V} = 221.074 e^{j0.0152} = 221.074 / 0.871^\circ \text{ V} \\ \tilde{I}_{S_2} &= 59.024 - j42.718 = 72.861 e^{-j0.626} = 72.861 / -35.87^\circ \text{ A} \\ \frac{U_n - U_{S_2}}{U_n} 100 &= \frac{230 - 221.074}{230} 100 = 3.88\% \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_n} 100 = \frac{\Delta U_{L_1} + \Delta U_{L_2}}{230} 100 = \frac{4.001 + 3.493}{230} 100 = 3.26\%$$



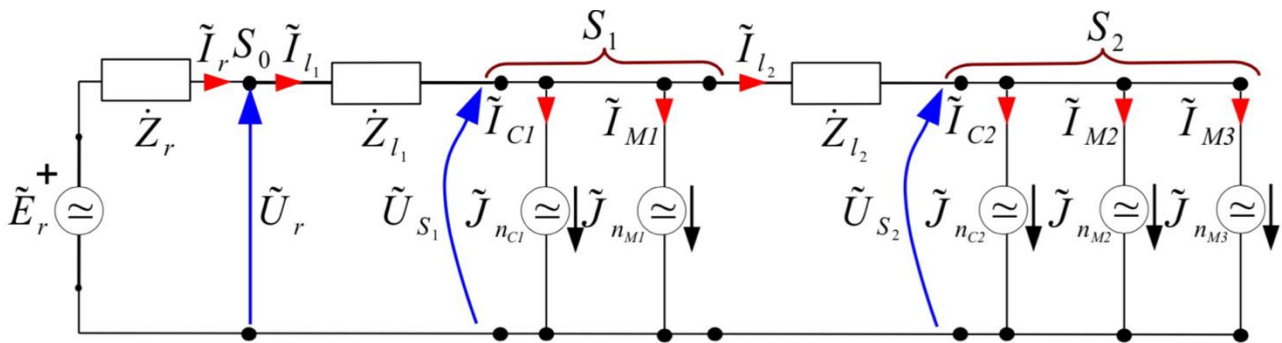
$$\cos \varphi_{S_2} = \left[\arctan \left(\frac{Q_{S_2}}{P_{S_2}} \right) \right] = 0.80$$

$$\dot{S}_{S_2} = \tilde{U}_{S_2} \tilde{I}_{S_2}^* = 12.904 + j9.641 \text{ (kW, kVAr)}$$

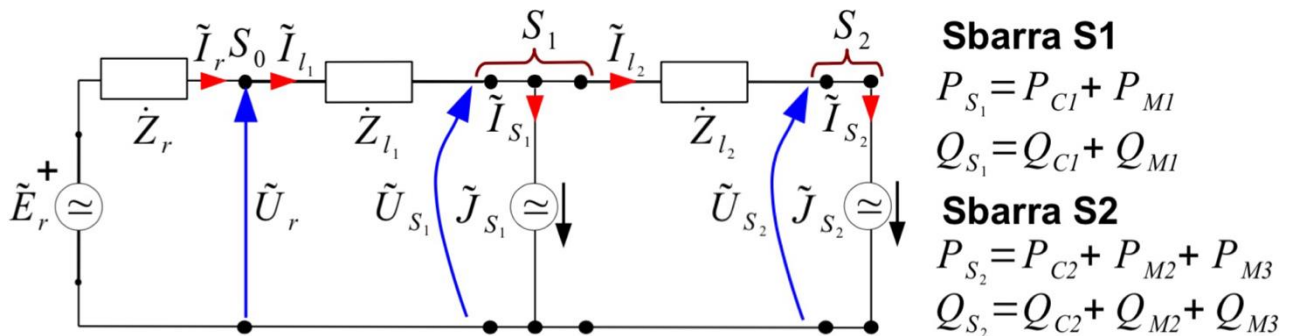
Il rendimento è sempre potenza uscente su entrante ed è circa del 96%

La caduta di tensione percentuale, si può stimare come somma della caduta di tensione sulla linea L1+L2, ed è 3,26% questo valore poteva venire leggermente superiore considerando direttamente la caduta di tensione sul carico.

Gli stessi calcoli potevamo farli rappresentando i carichi non con delle impedenza ma tramite generatore:



Da cui:



Per risolvere questa rete, possiamo partire dal fatto che conosciamo le correnti in tutti i lati della rete, dove non le conosciamo applichiamo il principio di kirchoff.

RIFASAMENTO:

Abbiamo detto che il fattore di potenza era troppo basso, per cui bisognava rifasare. Come?

Il rifasamento di un impianto, quindi del suo carico equivalente, si effettua mediante un condensatore.

Come ne determiniamo la capacità tale da farci ottenere un fattore di potenza di 0,95?

Il condensatore, fornisce localmente quell aliquota di potenza reattiva di cui ha bisogno il carico per funzionare, per cui questa aliquota di potenza non transita nella linea, quindi a parità di potenza attiva fornita al carico, sulla linea transita una potenza reattiva minore quindi si riduce il valore efficace della corrente di alimentazione. Questo è possibile perché i condensatori assorbono una potenza reattiva negativa, ovvero erogano una potenza reattiva andando così a bilanciare parzialmente il fabbisogno di potenza reattiva del carico. La formula per determinare la capacità del condensatore di rifasamento è:

$C = \frac{P_s}{\omega U^2 \sin^2 \phi}$

. P_s in questa formula è la potenza attiva assorbita dai carichi che sono collegati a valle della sezione in corrispondenza della quale andiamo a rifare il rifasamento; se andiamo a rifasare in corrispondenza del punto di consegna, questa potenza sarà la somma delle potenze attive di tutti i carichi alimentati.(ci sarebbe teoricamente anche quella assorbita dalle linee, teoricamente sarebbe giusto ma nella realtà un valore così rigoroso di questa potenza avrebbe poco senso perché sul mercato non troveremo condensatori della stessa capacità di quella ottenuta, ma dovremo adattarci a quello che troviamo sul mercato.) in questo caso ad esempio potevamo scegliere di mettere 4 condensatori in parallelo con capacità di 100 ciascuno.

Rifasando in questo modo, non otteniamo alcun beneficio, se non quello di non pagare le penali che altrimenti sarebbero imposte.

Potremmo quindi pensare di andare a rifasare i singoli carichi così che globalmente avremo sempre un fattore di potenza superiore a 0,92 ma avremmo anche un beneficio sull impianto perché produce localmente dove serve l aliquota di potenza reattiva che serve ad innalzare il fattore di potenza e tale aliquota non transita sulle linee (che sono le nostre); vengono quindi ridotte le cadute di tensioni sulle linee e le perdite nelle linee, quindi riduce i costi di esercizio.

In generale quando si opera un rifasamento lo si fa mediante una soluzione intermedia, ovvero un rifasamento a blocchi ad esempio sulle singole sbarre.

Nota:

In questo esercizio ci sono delle imprecisioni:

Il fattore di potenza è per normativa passato da 0,92 a 0,95.

Il dimensionamento delle linee è di fatto sbagliato perché lo abbiamo effettuato con i dati di targa dei carichi senza aver applicato coefficienti di utilizzazione e contemporaneità ovvero le potenze effettive che dovranno essere erogate in condizioni di esercizio. Noi abbiamo operato con le potenze nominali.

Sommando le potenze nominali, si otteneva una potenza effettiva di 22kw 118 A. Questa potenza però la società fornitrice non ce la erogherà mai in monofase, il limite di erogazione contrattuale nel monofase è di 10KW 63 A, oltre dovremo passare al trifase. Questo per non sbilanciare troppo la linea trifase a monte.