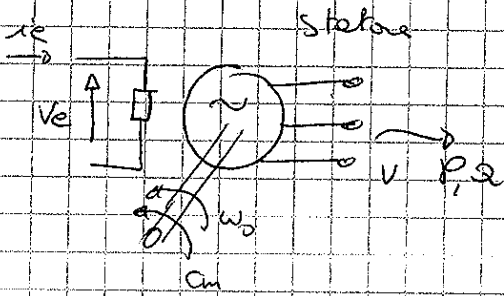
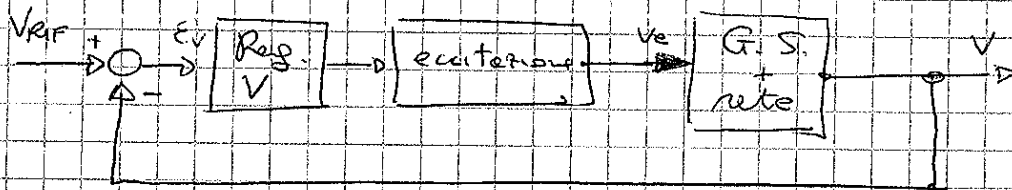


MODELLO DEI GENERATORI SINCRONI (21)



Se il generatore è collegato alla rete si possono decidere V_e e C_m .

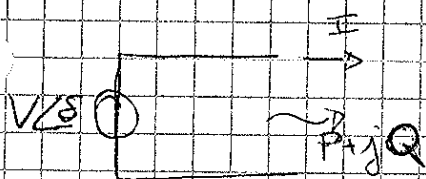
Trascurando le perdite si ha che $P = C_m \cdot \omega_0$.



l'eccitazione può essere statica (tristori AC/DC) o rotante (macchina ckt ausiliaria).

I Regulatori di V hanno guadagni elevati, così E_v sono piccoli. Ne segue che si ripone $V = V_{ref}$.

Per un generatore è possibile riporre P in ingresso in rete e V ai morsetti.



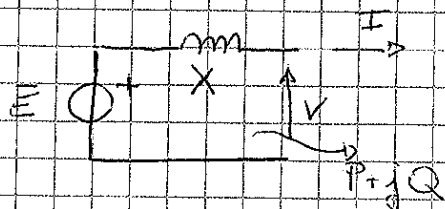
Non possiamo scegliere né Q né S .

Ne segue che il bipolo generatore ideale non va bene per rappresentare il generatore sincrono.

A regime per un generatore sincrono isotropo (2 poli con rotore cilindrico) $X_d = X_q = X$ è la reattanza sincrona.

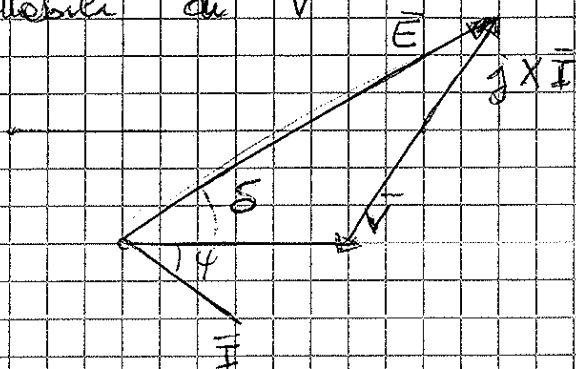
Di solito $X \gg R_s$ con base nominale.

Trascurando $R_s \ll X$



$$|E| \propto V_e = R_e I_e$$

Con $V_e = \text{costante}$ ed angolo di P e Q si hanno variazioni
 inaccettabili di V



In condizioni nominali: $V = 1 \text{ pu}$ $I = 1 \text{ pu}$ $X I \approx 2 \text{ pu}$

Note S_N e $V_N \Rightarrow I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} V_N}$

Impedante ϵ e $\cos \phi_N$ ^{abbia} _{che} ^{valore} $0,8 = 0,9$

Volere a vuoto e V_N e in condizioni nominali

$$\vec{E} = \vec{V} + j X \vec{I} \quad \vec{V} = V \angle 0 \quad V = 1 \text{ pu}$$

a vuoto $I = 0 \quad \vec{E}_0 = 1 \text{ pu}$

in cond. nominali: $\vec{I} = I_N \angle -\phi_N = I_N \cos \phi_N - j I_N \sin \phi_N$

$I_N = 1 \text{ pu}$

Se $\cos \phi_N = 0,8 \Rightarrow \sin \phi_N = 0,6 \Rightarrow I = 0,8 - j 0,6 \text{ pu}$

$\vec{E}_N = (0,8 - j 0,6) \cdot j 2 + 1 = 2,2 + j 1,6 \text{ pu}$

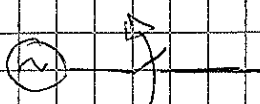
$E_N = 2,72 \text{ pu}$

Poiché $E \propto V_{ecc}$ ne segue $\frac{V_{ecc N}}{V_{ecc 0}} = 2,72$ questo perché

X è molto elevata.

Se la macchina funzionante in condizioni nominali

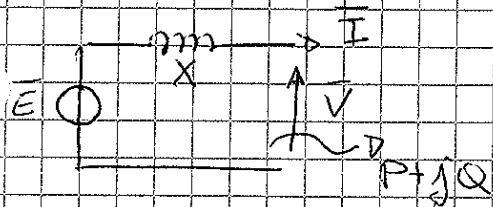
si separa dal sistema ed rimane in "transitorio"



mi troverei in morsett. una

$V = 3 V_N$

è quindi necessario un sistema veloce che ne in grado di



$$\delta = \angle \bar{E} - \angle \bar{V}$$

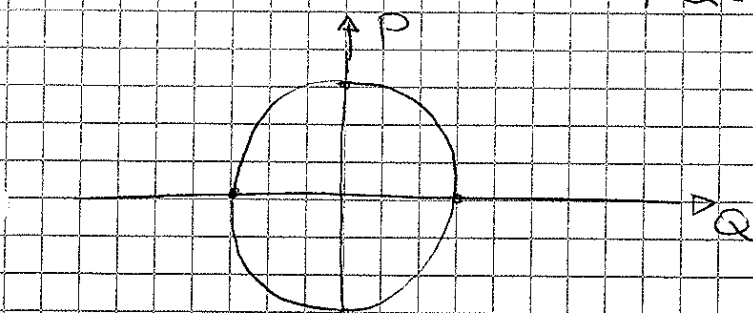
$$\bar{V} = V \angle 0$$

$$\bar{I} = \frac{P - jQ}{V}$$

$$\bar{E} = V + jX \left(\frac{P - jQ}{V} \right)$$

$$\begin{cases} E \cos \delta = V + \frac{QX}{V} \\ E \sin \delta = X \frac{P}{V} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} P = \frac{VE \sin \delta}{X} \\ Q = \frac{V}{X} (E \cos \delta - V) \end{cases}$$



o $V = \text{costante}$

centro $(0,0)$

raggio (VI)

luogo dei punti con $|I| = \text{costante}$

$$P^2 + Q^2 = V^2 I^2$$

luogo dei punti con $|\bar{E}| = \text{costante}$

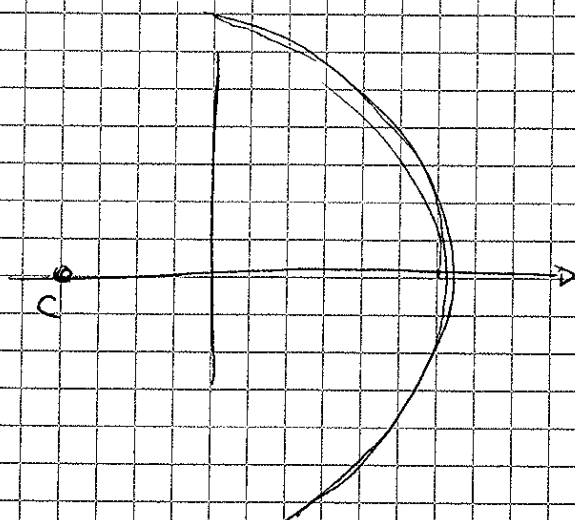
($\cos \delta$ e V_e, I_e costant.)

$$E^2 = \left(V + X \frac{Q}{V} \right)^2 + \left(X \frac{P}{V} \right)^2$$

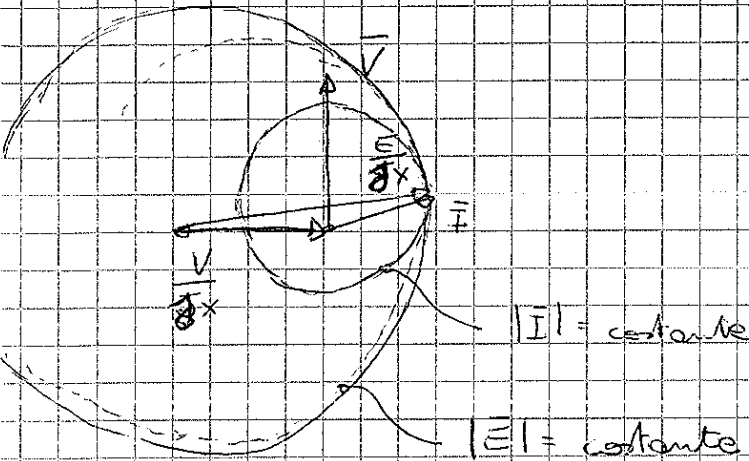
circonferenza con centro $\left(-\frac{V^2}{X}, 0 \right)$ e

raggio $\frac{EV}{X}$

$$\frac{E^2 V^2}{X^2} = \left(\frac{V^2}{X} + Q \right)^2 + P^2$$

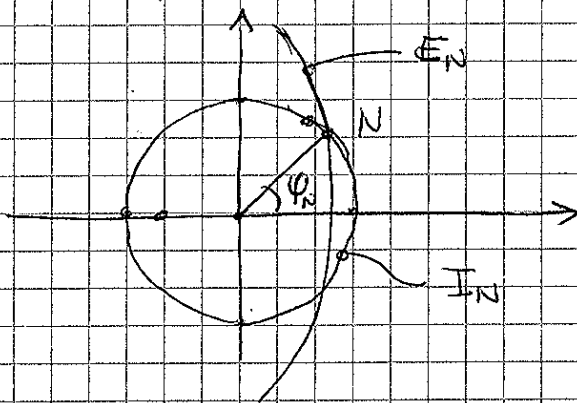


l'equazione della circonferenza può essere vista anche su un diagramma vettoriale



$$\begin{cases} I_a = I \cos \varphi = \frac{P}{V} \\ I_r = I \sin \varphi = \frac{Q}{V} \end{cases}$$

Se disegno $I = I_N$, $V = V_N$ e $V_{ecc} = V_{eccN}$



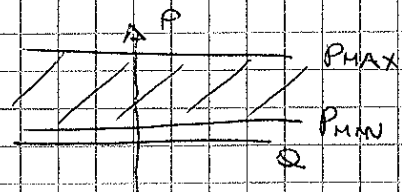
N: è il punto di funzionamento nominale della macchina

Limiti di impiego del generatore sincrono

- 1) limite termico di statore $I_a < I_N$
- 2) limite termico di rotore $I_e < I_{eN}$ ($E < E_N$)
- 3) limite di "turbina" $P_{min} \leq P \leq P_{max}$

idraulici $P_{min} \approx 0$

termoelettrici $P_{min} \approx 0,3 P_{max}$



- 4) limite di "astorazione"

Se V_e è basso, si può avere surriscaldamento delle testate di statore

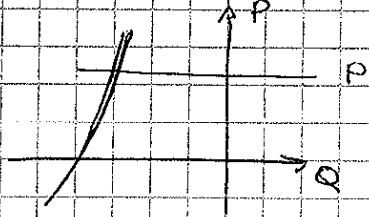
Si hanno molti problemi di stabilità

$$\begin{cases} P = \frac{EV}{X} \sin \delta \\ Q = \frac{V}{X} (E \cos \delta - V) \end{cases}$$

una diminuzione di E a parità di potenza comporta un aumento di δ

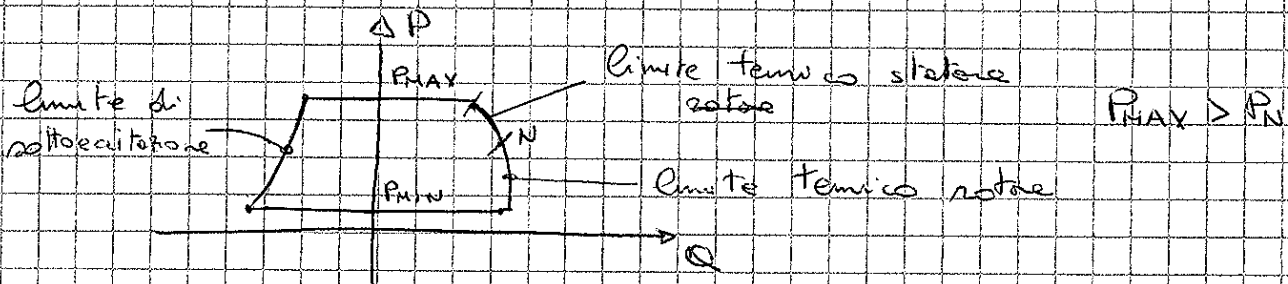
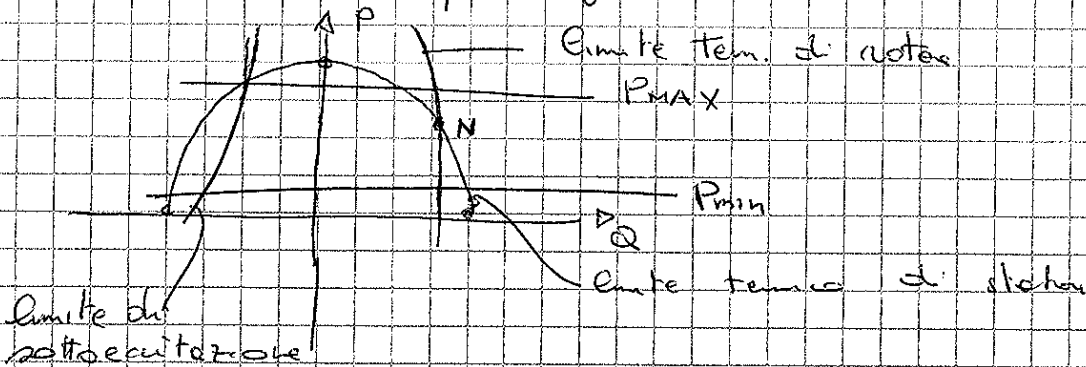
oltre se ϵ diminuisce, diminuisce anche Q (sempre $\textcircled{2}$ o punti di P e V).

In sottoeccitazione Q è sempre < 0 (non $\epsilon \cos \delta < V$)

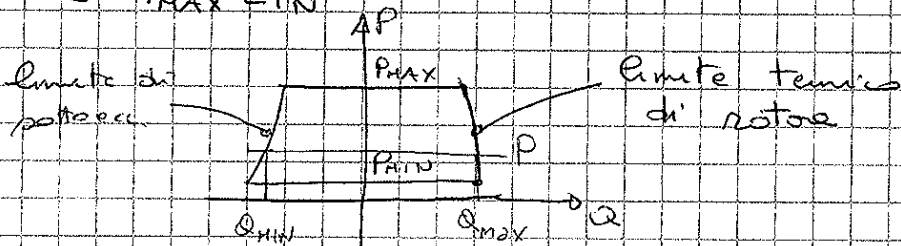


Ho una Q_{min} che dipende da P .

Se mettiamo insieme tutti i 4 limiti otteniamo le curve di prestazione (capability curve)

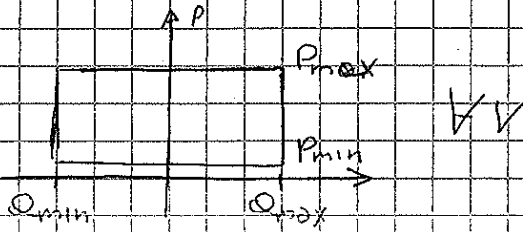


Se $P_{MAX} < P_N$

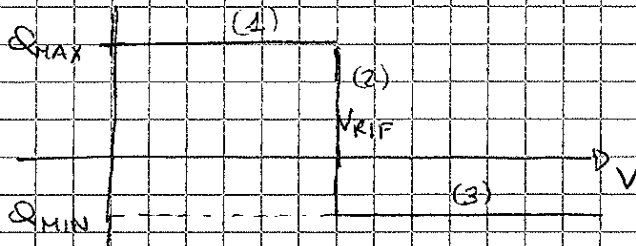


Cosa importante è che fissata P si ha un valore max ed un valore minimo di Q . In generale Q_{min} è sempre causato dalla sottoeccitazione, mentre Q_{max} è dato dal limite termico del rotore o da quello di statore.

Negli studi si stabiliscono dei valori di Q_{min} e Q_{max} indipendenti da P



Se $V = V_{RIF}$ si può descrivere il comportamento del generatore in termini di Q e V

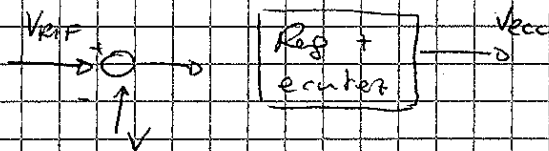


Il tratto (2) corrisponde a $V = V_{RIF}$ e $Q_{min} < Q < Q_{max}$

Il tratto (1) ha $Q = Q_{max}$ e $V < V_{RIF}$

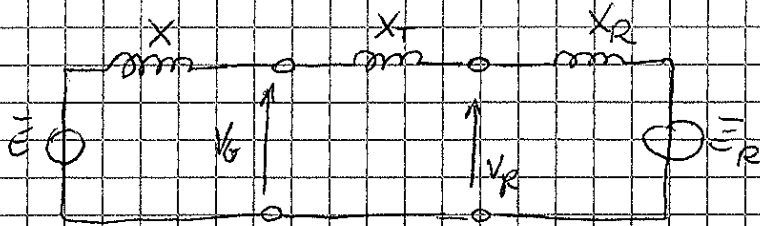
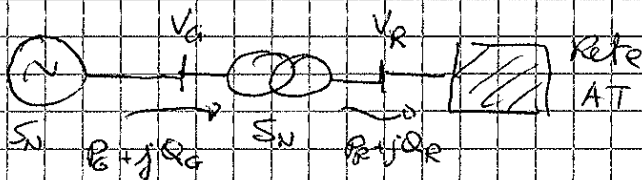
Il tratto (3) ha $Q = Q_{min}$ e $V > V_{RIF}$

Il tratto (2) corrisponde al range di regolazione del regolatore di tensione.



se $E = E_N$ e $E_v > 0 \Rightarrow V < V_{RIF}$

Esempio:



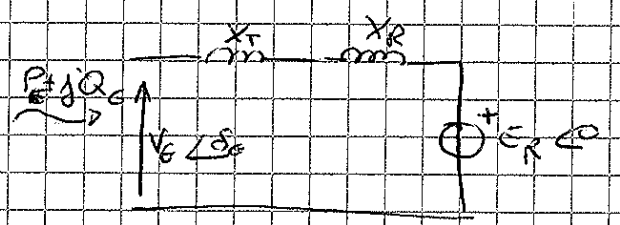
rappresentano la rete AT con il circuito equivalente di Thevenin E_R, X_R

trasformatore: $E = 1$ { rapporto di E, X, X_1 sul rete AT

può $V_{sc}, V_{BR}, I_{pu} = 1$

generatore $X_d = X_q = X$ $I_e \propto V_e \propto I_e$ a regime

legame tra Q_G e V_G



$$Q_G = \frac{V_G}{X_T + X_R} (V_G \cos \delta_G - \bar{E}_R)$$

$$P_G = \frac{V_G \bar{E}_R}{X_T + X_R} \sin \delta_G$$

Scegliamo $S_R = S_{nom}$ e $V_B = V_{nom}$

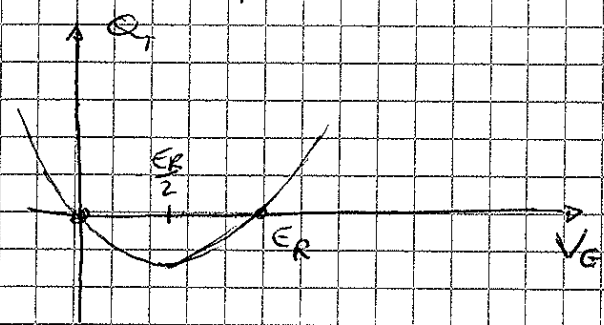
In queste condizioni $X_T \approx 0,1 \div 0,2$ pu

In questi $X_R \approx 0,01 \div 0,1$ pu

Divisione di $X_T + X_R \approx 0,1 \div 0,2$ pu

Ne segue che $P_{MAX} \approx 5 \div 10$ pu

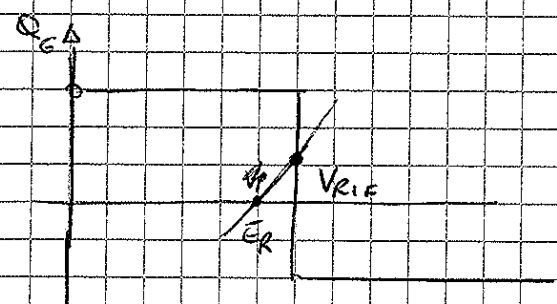
Se δ_G è piccola $\cos \delta_G \approx 1$ $Q_G \approx \frac{V_G}{X_T + X_R} (V_G - \bar{E}_R)$



A noi interessa $V_G \approx E_R$ Nella zona di interesse possiamo considerare la funzione lineare.

Ne segue che se $V_G < E_R \Rightarrow Q_T < 0$

se $V_G > E_R \Rightarrow Q_T > 0$



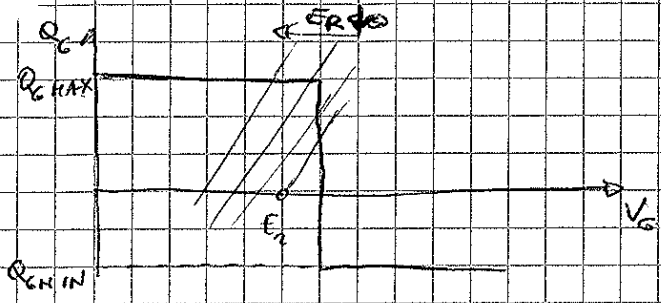
$$V_G = V_{RIF} \quad Q_{GMIN} < Q_G < Q_{GMAX}$$

troviamo la pendenza delle caratteristiche

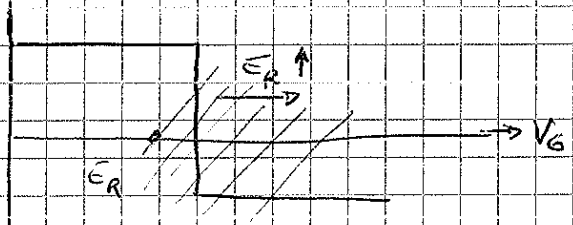
$$\frac{dQ_G}{dV_G} = \frac{E_R - V_G}{X_T + X_R} \quad \text{se } V_G \approx E_R \quad \text{allora} \quad \frac{dQ_G}{dV_G} = \frac{E_R}{X_T + X_R} \approx 5 \div 10 \text{ pu}$$

Ma poiché la pendenza è circa 10 pu ha che per un $\Delta V = 1\%$ determino $\Delta Q_G = 10\%$

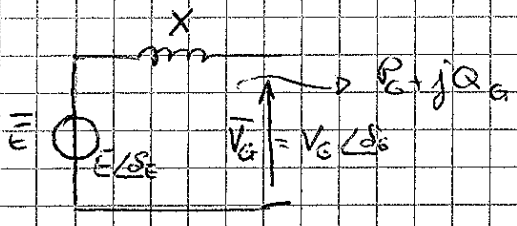
Variazioni di E_R se il carico è elevato le tensioni tendono ad abbassarsi, mentre se è basso tendono ad alzarsi. Le variazioni di E_R sono delle traslazioni della caratteristica. Al diminuire di E_R la caratteristica si trasla a sx



e aumenta Q_G fino all'intersezione con $Q_G MAX$. Non si riesce più a controllare V_G che inizia a diminuire

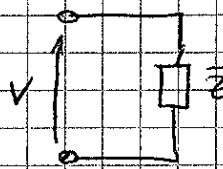


Quando E_p aumenta Q_G diminuisce fino a raggiungere $Q_G MIN$. A questo punto V_G inizia ad aumentare.



Poiché $X \gg Z$ (valore elevato) non è vero che $S_E \approx S_G$. Ma qualitativamente possiamo dire che al crescere di Q_G cresce E (cioè cresce V_e e I_e)

MODELLO dei CARICHI



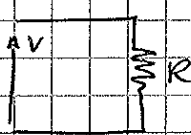
A elettrotecnica abbiamo sempre rappresentato i carichi così

I carichi possono essere:

- illuminazione
- calore
- motori
- apparecchiature elettroniche

$Z = R$: - lampada ad incandescenza
- resistenze di riscaldamento (forno, H.o., stufe)

A noi interessa conoscere come varia l'andamento del carico al variare di V_G .



$Q = 0$
 $P = \frac{V^2}{R}$

$P \propto V^2$ non è vero perché bisogna tenere presente la

variazione di R con la temperatura.