easyPOLI

Esercizi introduttivi

Esplicativi per l'apprendimento delle nozioni teoriche sulla fisica dei dispositivi

www.easypoli.it

facebook.com/easypoli

contatti@easypoli.it

Esercitazione elettronica 13/03/15

Es. α

$V_{DD} = 15\,V$ (alimentatore) $I_{DD} = 8\,mA$

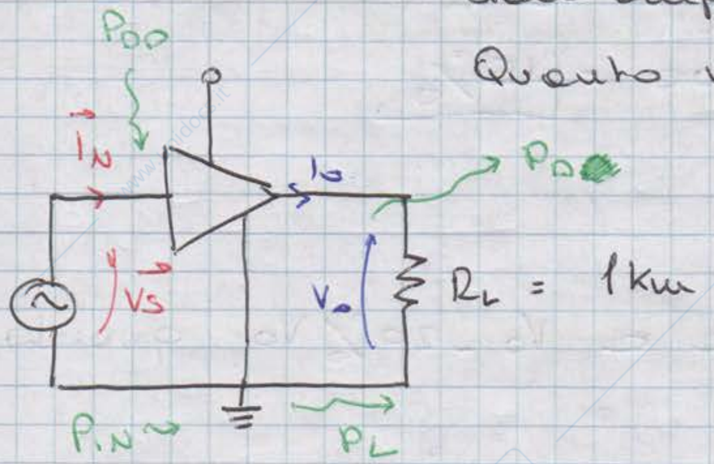
$V_{Opp} = 12\,V$ (picco - picco)

$R_L = 1\,k\Omega$

$I_{IN} \simeq 0\,A$

Quanto vale P_D (= potenza dissipata dall'amplificatore)

Quanto vale $\eta = \frac{P_L}{P_{DD}} \cdot 100$



lavoro sul modulo del fasore corrente

$|\vec{V}_{Opp}| = 12\,V$ (non essendo specificato, ritengo offset = 0)

$\Rightarrow |\vec{V}_{Op}| = 6\,V$

$P_{DD} = V_{DD} \cdot I_{DD} = 15 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = \boxed{120\,mW}$ potenza fornita dall'ali

$|\vec{I}_o| = \frac{|\vec{V}_{Op}|}{R_L} = \frac{6}{1 \cdot 10^3} = 6\,mA$

$P_L = \frac{1}{2} \frac{V_{Op}^2}{R_L} = \frac{(V_o\,eff)^2}{R_L} = \left(\frac{6}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot \frac{1}{10^3} = \boxed{18\,mW}$

sono in regime sinusoidale

È il segnale di ingresso non fornisce potenza essendo $I_{IN} = 0$

$$P_{IN} = \frac{1}{2} V_{IN} \cdot I_{IN} = 0\ W$$

Per il bilancio energetico

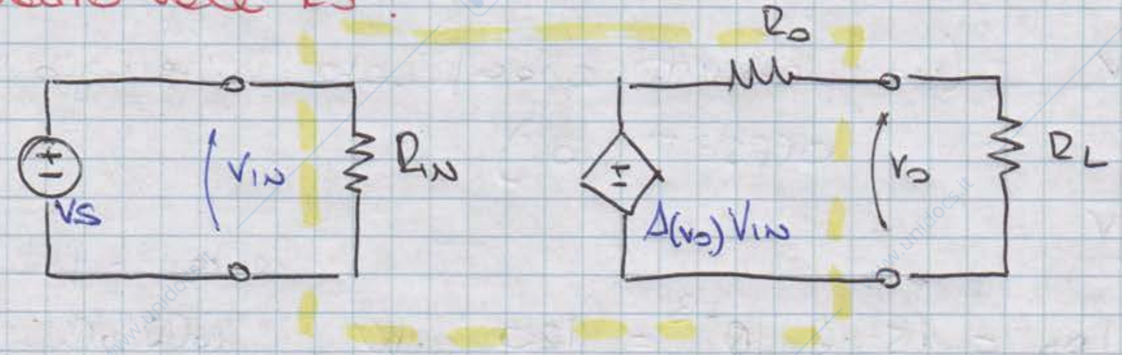
$$P_{IN} + P_{DD} = P_L + P_D \qquad P_D = P_{IN} + P_{DD} - P_L = $$
$$= 102\ mW$$

$$\eta = \frac{P_L}{P_{DD}} \cdot 100 = \frac{18 \cdot \cancel{10^{-3}}}{120 \cdot \cancel{10^{-3}}} \cdot 100 = 15\%$$

Es. B

In un AMPLIFICATORE: V_o passa a $V_o - 20\% V_o$ quando $R_L = 1\ k\Omega$

Quanto vale R_o?



Senza R_L ho $V_o = A(v_o) \cdot V_{IN}$ $(R_L \to \infty)$

con R_L ho $V_o = A(v_o) \cdot V_{IN} \cdot \dfrac{R_L}{R_L + R_o}$

PID $V_S = V_{IN}$

$$\underbrace{\frac{R_L}{R_L + R_o} \cdot A(v_o) \cancel{V_{IN}}}_{R_L = 1\ k\Omega} = 80\% \cdot \underbrace{A(v_o) \cdot \cancel{V_{IN}}}_{R_L \to \infty}$$

$$\Rightarrow \frac{R_L}{R_L+R_o} = 0{,}8 \Rightarrow 10\,R_L = 8\,(R_L+R_o)$$

$$\Rightarrow \boxed{R_o = \frac{R_L}{4} = 250\ \Omega}$$

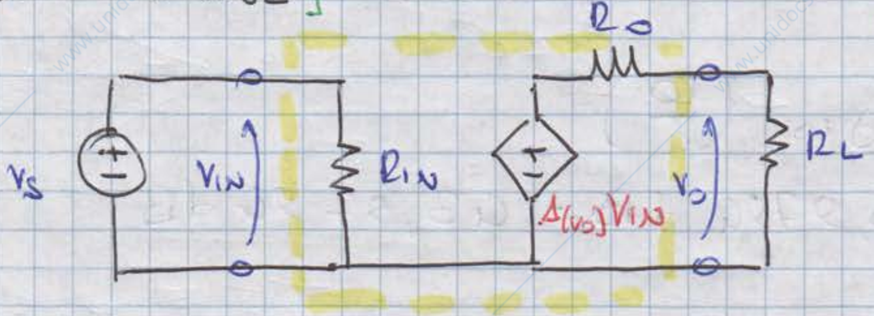
Es 8

Dato un amplificatore con $A(v_o)\big|_{dB} = 40\ dB$

$$\left[\begin{array}{l} R_{IN} = 10\ k\Omega \\ R_{ON} = 1\ k\Omega \\ R_L = 1\ k\Omega \end{array}\right]$$

Quanto vale $A(v_o)$? $A_p\big|_{dB} = ?$

guadagno di potenza



$$A(v_o)\big|_{dB} = 20\log_{10}\left(A(v_o)\right)$$

$$20\log_{10}\left(A(v_o)\right) = 40\ dB \Rightarrow A(v_o) = 100$$

$$v_o = \frac{R_L}{R_L+R_o}\,A(v_o)\,v_{IN} \Rightarrow P_L = v_o^2 \cdot \frac{1}{R_L}$$

$$= \frac{1}{R_L}\cdot\left[\frac{R_L}{R_L+R_o}\,A(v_o)\right]^2 v_{IN}^2$$

$$P_{IN} = \frac{v_{IN}^2}{R_{IN}}$$

$$\boxed{A_p = \frac{P_L}{P_{IN}}}$$ per definizione

OSS: sulle potenze si usa $10\log_{10} x$

(tensioni e correnti: $20\log_{10} x$)

$$A_p\big|_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{P_L}{P_{IN}}\right)$$

$$= 10\log_{10}\left[\frac{A_{V_0}^2 \cdot \cancel{V_{IN}^2} \cdot R_L^{\cancel{2}}}{(R_L+R_0)^2} \cdot \frac{1}{\cancel{R_L}} \cdot \frac{R_{IN}}{\cancel{V_{IN}^2}}\right] =$$

$$= 10\log_{10}\left[\frac{A(v_0)^2\, R_L\, R_{IN}}{(R_L+R_0)^2}\right] =$$

$$= 10\log_{10}\left(A(v_0)^2\right) + 10\log_{10}\left[\frac{R_L \cdot R_{IN}}{(R_L+R_0)^2}\right] =$$

$$= 20\log_{10} A(v_0) + 10\log \frac{10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{(2 \cdot 10^3)^2} =$$

$$= 40\ dB + 10\log_{10}\left(\frac{10}{4}\right)$$

$$\boxed{A_p\big|_{dB}} = 40\ dB + 3{,}9794\ dB = 43{,}9794\ dB$$

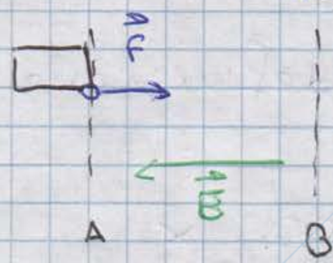
Esercizio 4

Un elettrone viene sparato da A e raggiunge B con V_B finale $V_B = 9{,}4 \cdot 10^6$ m/s. Si sa che

$V_A = 0$ m/s.

L'elettrone è accelerato sotto una tensione

$V_{BA} = V_B - V_A = \underline{V_B = V}$ $\qquad V_A = 0\,V \qquad$ Quanto vale V?



$e = -q = -1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C

Per il teorema di cons dell'energia

$$eV_A + \frac{1}{2} m V_A^2 = \underbrace{eV_B}_{\text{energia potenziale}} + \underbrace{\frac{1}{2} m V_B^2}_{\text{energia cinetica}}$$

$$-qV_A + \cancel{\frac{1}{2} m v_A^2}_{\to 0} = -qV_B + \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$q(\underbrace{V_B - V_A}_{V}) = \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$\boxed{V = \frac{1}{2}\frac{m v_B^2}{q}}$$

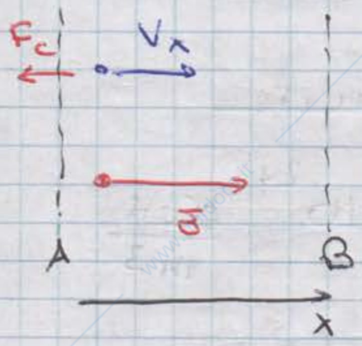
m = massa elett = $9,109 \cdot 10^{-31}$

$V = 251,2\ V$

OSS: il potenziale decresce nella direzione del campo elettrico. Il campo $\vec{E}$ è rivolto ~~verso~~ dalla la regione a potenziale maggiore verso la regione a potenziale minore.

Esercizio 5

$E_c = 10^{-17}\ J$



→ un elettrone ha $E_{cinetica} = E_c$ in corrispondenza della superficie A ed è sollecitato da campo ritardato (si oppone alla direz. di moto dell'elettrone) dovuto a tensione

Trovare V_x t.c. $v_B = 0$

$F = qE = -eE$

Cons. energia: $eV_A + \frac{1}{2} m v_A^2 = eV_B + \frac{1}{2} m v_B^2$

$q = e = 1,602 \cdot 10^{-19}\ C$

$$-qV_A + \frac{1}{2} m v_A^2 = -qV_B \qquad q(V_A - V_B) = \frac{1}{2} m v_A^2 = E_c$$

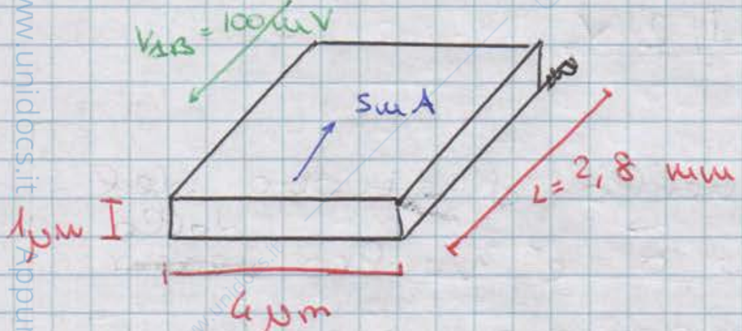
$$qV_x = E_c \Rightarrow \boxed{V_x} = \frac{E_c}{q} = 10^{-17}/1,602 \cdot 10^{-19} = 62,5\ V$$

Esercizio 6

Pista di materiale conduttore

$L = 2,8\ mm$ Sezione $S = 1 \times 4\ (\mu m)^2$

$I = 5\ mA$ $V_{AB} = 100\ mV$ $\mu_e = 500\ \dfrac{cm^2}{V \cdot sec}$



$$R = \frac{V}{I} = \frac{100\ mV}{5\ mA} = 20\ \Omega$$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot S}{L}$$

$[\rho] = \Omega \cdot cm$

$$\rho = \frac{20 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{2,8 \cdot 10^{-3}} = \frac{20}{7} \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \Rightarrow \sigma = 3,5 \cdot 10^{7}\ (\Omega m)^{-1}$$

$\sigma = q \cdot n \cdot \mu_e$ CONDUCIBILITÀ

$$n = \frac{\sigma}{q \cdot \mu_e} = \frac{3,5 \cdot 10^{7}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 500 \cdot 10^{-4}} = 4,375 \cdot 10^{27}\ \frac{elett}{m^3}$$

$$\left[n = 4,375 \cdot 10^{21}\ elett./cm^3 \right]$$

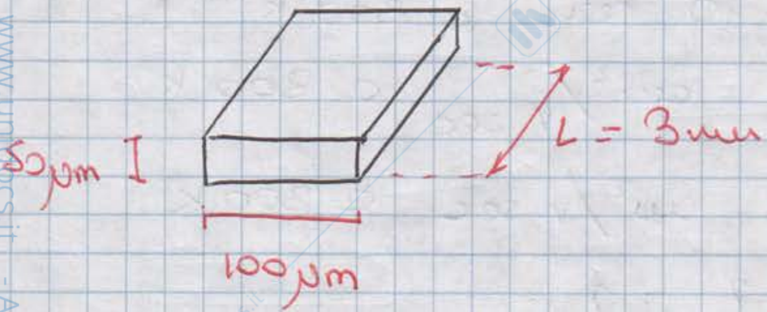
OSS: Vi è una miriade di elettroni liberi nei conduttori.

Esercizio 7

Data barretta di silicio

$L = 3$ mm $\quad S = 50 \cdot 100\ (\mu m)^2 \quad I = 1\ \mu A$

$E = ? \quad V = ?$ con $T = 300$ K



Dalle tabelle sappiamo che a $T = 300$ K

$\rho = 2,3 \cdot 10^5\ \Omega \cdot cm$

$$I = J \cdot S \Rightarrow \boxed{J} = I/S = 10^{-6}/50 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 200\ A/m^2$$

$$J = E\sigma \Rightarrow \boxed{E} = J/\sigma = \rho \cdot J = 2,3 \cdot 10^5 \cdot 10^{-2} \cdot 200 = 4,6 \cdot 10^5\ \frac{V}{m}$$

$$V = E \cdot l = 4,6 \cdot 10^5\ \frac{V}{m} \cdot 3 \cdot 10^{-3}\ m = 1380\ V$$

Esercizio 8

Calcolare ρ sapendo che la mobilità

$\mu_n = \mu_e = 6500\ cm^2/V \cdot sec$ a $T = 50$ K

$\mu_p = 300\ cm^2/V \cdot sec$

$$\sigma = q n \mu_n + q p \mu_p = q(n\mu_n + \mu_p \cdot p) = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot n_i (\mu_n + \mu_p)$$

n_i a $T = 50$ K

$n_i = 4,335 \cdot 10^{-39}$ $\quad \sigma = 58,95 \cdot 10^{-55}\ (\Omega \cdot cm)^{-1}$

$\rho = \frac{1}{\sigma} = 1,696 \cdot 10^{53}\ (\Omega \cdot cm)$ ALTISSIMA

Esercizio 8

$L = 3\ mm \quad S = (50 \cdot 100)\ (\mu m)^2$ drogato silicio

Sapendo che $N_D = 5 \cdot 10^{14}\ cm^{-3}$ a 300 k

$n_i = 1{,}45 \cdot 10^{10}\ cm^{-3}$ a 300 k

$\mu_e = 1500\ cm^2/V \cdot sec$ a 300 k

$\mu_p = 475\ cm^2/V \cdot sec$ a 300 k

Essendo $I = 1\ \mu A$ $\quad \sigma ?\ V ?$

$N_D \gg n_i \quad n \simeq N_D \quad p = \dfrac{n_i^2}{N_D}$ (essendo $p \cdot n = n_i^2$)

$$p = \frac{1{,}45^2 \cdot 10^{20}}{5 \cdot 10^{14}} = 4{,}2 \cdot 10^{5}\ cm^{-3}$$

ho pochissime lacune rispetto alle $5 \cdot 10^{14}$ elett.

$$\sigma = q \cdot n \cdot \mu_e + q \cdot p \cdot \mu_p = q\,(N_D \mu_e + p\,\mu_p)$$

$$\sigma = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot (5 \cdot 10^{14} \cdot 1500 + 4{,}2 \cdot 10^{5} \cdot 475) =$$

$$= \underbrace{12 \cdot 10^{-2}}_{\text{elett.}} + \underbrace{3{,}192 \cdot 10^{-11}}_{\text{lacune}}$$

la conducibilità è legata quasi esclusivamente agli elettroni

$$\Rightarrow \sigma \simeq 12 \cdot 10^{-2}$$

$$J = I/S = 1 \cdot 10^{-6} / 5 \cdot 100 \cdot 10^{-12} = 200\ \frac{A}{m^2} = 2 \cdot 10^{-2}\ \frac{A}{cm^2}$$

$$\boxed{J = \sigma \cdot E} \Rightarrow E = J/\sigma = 1/6\ V/cm$$

$$V_{barretta} = E \cdot L = 1/6 \cdot 3 \cdot 10^{-1}\ cm = \boxed{0{,}05\ V}$$

Esercizio 9

Un campione di Silicio è drogato con atomi di fosforo (penta-valente)

a) $N_D = 2 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$ $N_A = ?$ $\mu_e = ?$ $\mu_p = ?$

b) Poi è drogato aggiungendo BORO (tri-valente)

a) $N_D = 2 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$ $N_A = 0\ cm^{-3}$ NON HO ATOMI ACCETTORI

Per calcolare μ_e e μ_p uso la tabella delle MOGA:

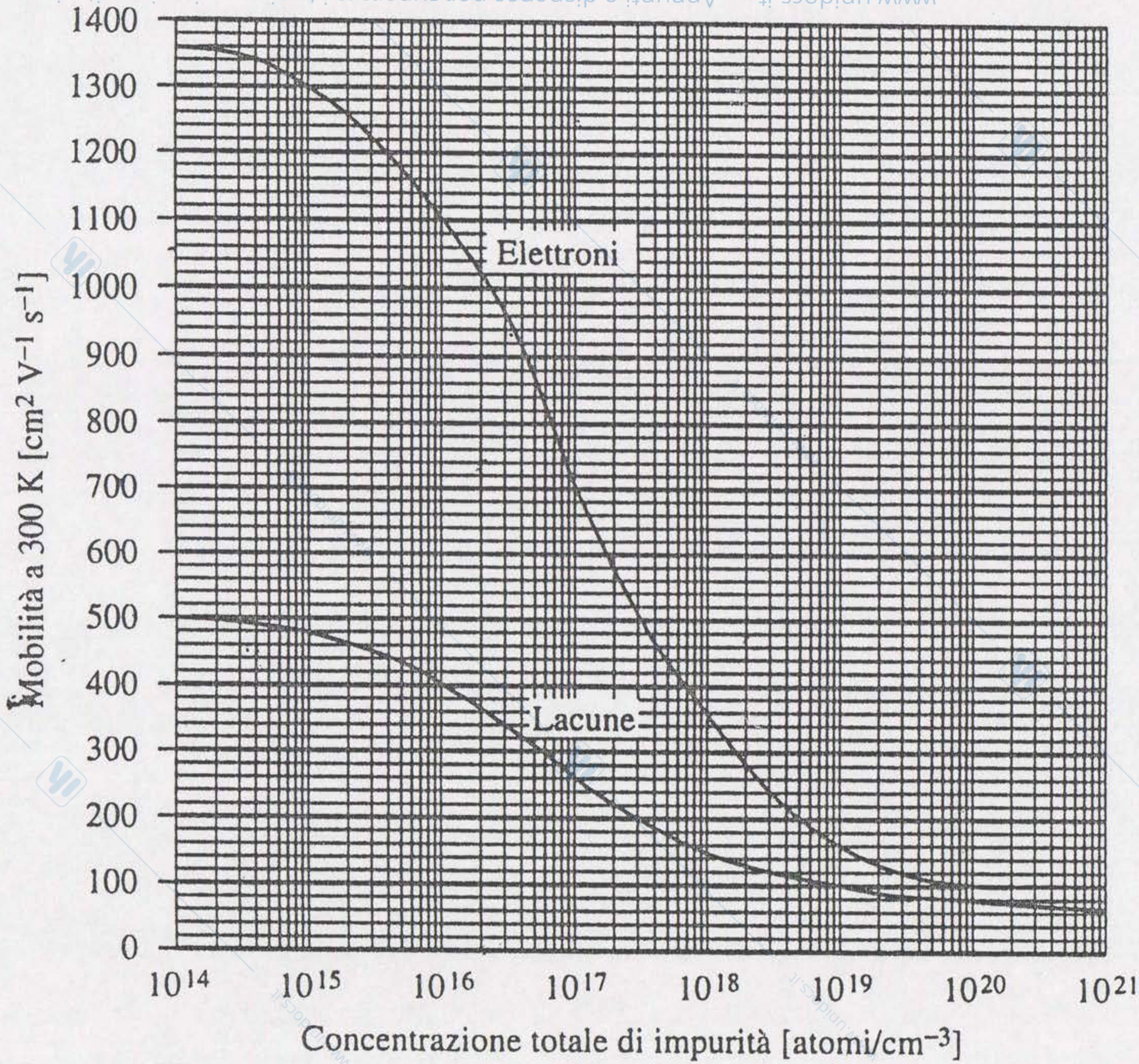
$\mu_p = 370\ cm^2/V \cdot sec$ $\mu_e = 1020\ cm^2/V \cdot sec$

b) $N_T = N_A + N_D =$ concentrazione totale di droganti

$= 5 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$

Uso ancora la tabella:

$\mu_p = 310\ cm^2/V \cdot sec$ $\mu_e = 870\ cm^2/V \cdot sec$



Dipendenza della mobilità di elettroni e lacune dalla concentrazione totale di impurità nel silicio a 300 K.

Esercizio 10

Un campione di silicio è drogato con $N_D = 4 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$
$N_A = 1,1 \cdot 10^{17}\ cm^{-3}$

Fosforo : 5-valente
⇕
donatore

Boro : 3-valente
⇕
accettore

$T = 300\ K$ → calcolare n, p in equilibrio

$p = (N_A - N_D) = 1,1 \cdot 10^{17} - 4 \cdot 10^{16} = 7 \cdot 10^{16}\ cm^{-3}$

approssimaz intelligente

$\boxed{n} = \dfrac{n_i^2}{p} = \dfrac{1,45^2 \cdot (10^{10})^2}{7 \cdot 10^{16}} = 3 \cdot 10^3\ cm^{-3}$

Le lacune sono maggioritarie
Controlliamo in un altro modo

$\underbrace{n + N_A}_{\text{cariche neg.}} = \underbrace{p + N_D}_{\text{cariche positive}}$ $\qquad np = n_i^2 \qquad n = \dfrac{n_i^2}{p}$

$p - n = N_A - N_D \qquad p - \dfrac{n_i^2}{p} = (N_A - N_D)$

$p^2 - (N_A - N_D)p - n_i^2 = 0 \qquad p_{1,2} = \dfrac{(N_A - N_D) \mp \sqrt{(N_A - N_D)^2 + 4n_i^2}}{2}$

$p_{1,2} = \dfrac{7 \cdot 10^{16} \mp 7 \cdot 10^{16}}{2} = \begin{cases} 0 \\ p_2 = 7 \cdot 10^{16} \end{cases}$

$\boxed{p = N_A - N_D}$

Quindi andava bene anche l'approssimaz.