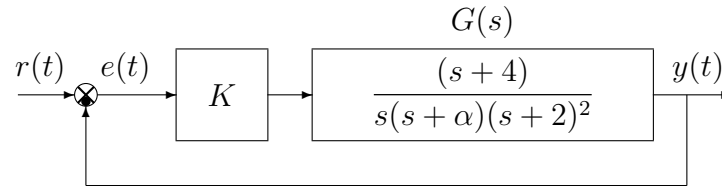


Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

a) Sia dato il seguente sistema retroazionato:



a.1) Posto  $\alpha = 1$ , tracciare qualitativamente il luogo delle radici del sistema retroazionato sia per  $K > 0$  che per  $K < 0$ . Determinare esattamente la posizione degli asintoti. Determinare la posizione di eventuali punti di diramazione “solo in modo qualitativo”.

*Sol.* Posto  $\alpha = 1$ , l'equazione caratteristica del sistema retroazionato è:

$$1 + K_1 G(s) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad 1 + \frac{K(s+4)}{s(s+1)(s+2)^2} = 0$$

dove  $K_1 = K$ . L'andamento qualitativo del luogo delle radici del sistema  $G(s)$  per  $K > 0$  è mostrato in Fig. 1.

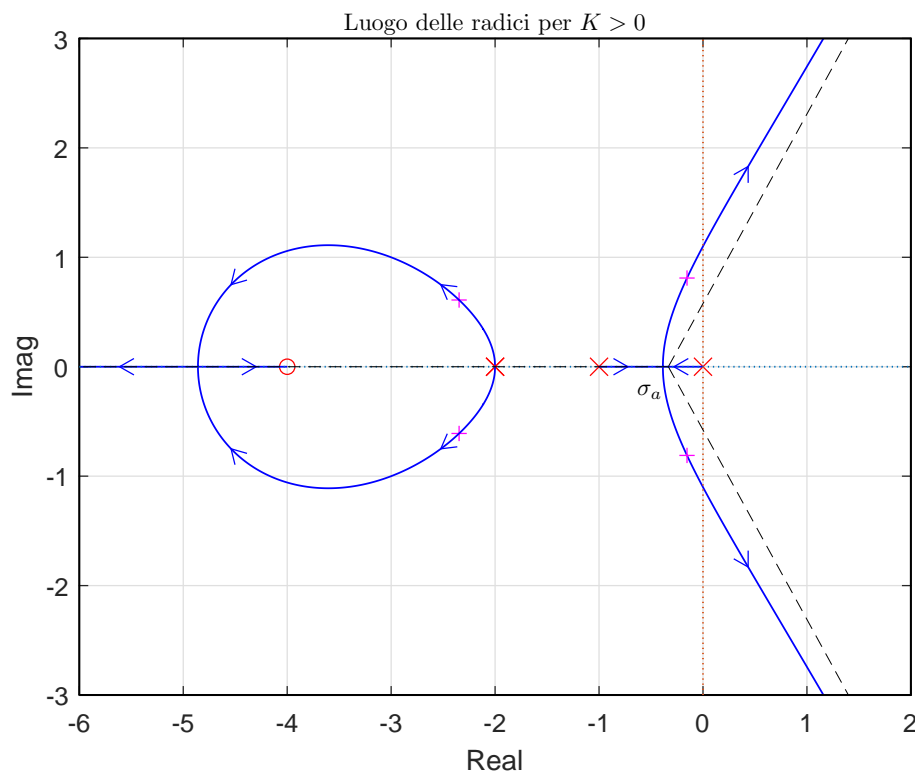


Figura 1: Luogo delle radici del sistema  $G(s)$  per  $K > 0$ .

L'andamento qualitativo del luogo delle radici per  $K < 0$  è mostrato in Fig. 2.

Il luogo delle radici ha tre asintoti. Il centro degli asintoti è:

$$\sigma_a = \frac{1}{3}(-1 - 2 - 2 + 4) = -\frac{1}{3} = -0.333.$$

a.2) Posto  $K = 81$ , tracciare qualitativamente il contorno delle radici del sistema retroazionato al variare del parametro  $\alpha > 0$ . Nella graficazione si tenga conto che: a) la posizione dei poli del sistema retroazionato quando  $K = 81$  e  $\alpha = 0$  è la seguente:  $p_{1,1} \simeq -4 \pm 1.12j$ ,  $p_{3,4} \simeq 2 \pm 3.84j$ . Determinare la posizione dei punti di diramazione “solo in modo qualitativo”.

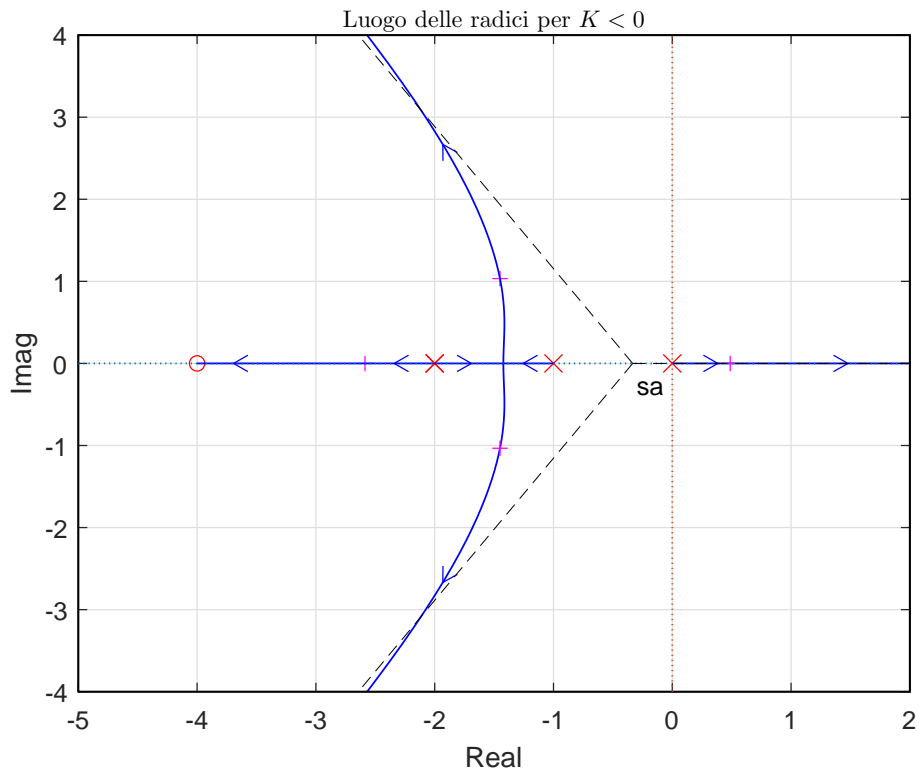


Figura 2: Luogo delle radici del sistema  $G_1(s)$  per  $K < 0$ .

*Soluzione.* Posto  $K = 81$ , l'equazione caratteristica del sistema retroazionato è la seguente:

$$s(s + \alpha)(s + 2)^2 + 81(s + 4) = 0 \quad \rightarrow \quad 1 + \frac{\alpha s(s + 2)^2}{s^2(s + 2)^2 + 81(s + 4)} = 0$$

I poli della funzione  $G_2(s)$  sono quelli indicati nel testo dell'esercizio:

$$1 + \frac{\alpha s(s + 2)^2}{((s + 4)^2 + 1.12^2)((s - 2)^2 + 3.84^2)} = 0 \quad \leftrightarrow \quad 1 + \alpha G_2(s) = 0$$

Il contorno delle radici al variare del parametro  $\alpha > 0$  è mostrato in Fig. 3.

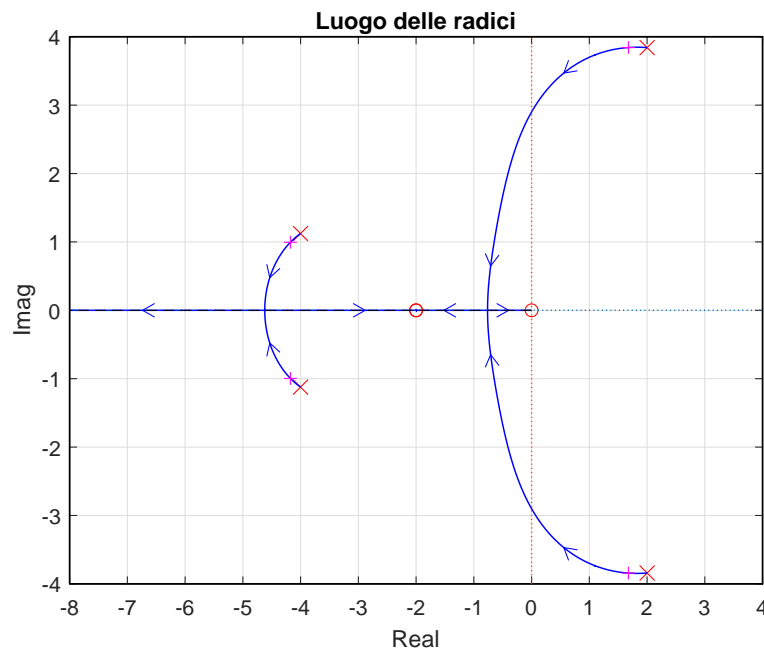


Figura 3: Contorno delle radici del sistema  $G_2(s)$  al variare del parametro  $\alpha > 0$ .

Il contorno delle radici ha un solo asintoto.

a.3) Sia data la seguente funzione di trasferimento che descrive la dinamica di un sistema fisico al variare di un parametro  $\beta$ :

$$G(s) = \frac{(s + 3)}{s^3 + 13s^2 + (42 + \beta)s + 5\beta}$$

Utilizzando la metodologia del contorno delle radici mostrare come si spostano sul piano complesso i poli della funzione  $G(s)$  al variare del parametro  $\beta > 0$ . Calcolare il valore  $\beta^*$  di  $\beta$  in corrispondenza del quale si ha il minimo tempo di assestamento della risposta al gradino del sistema  $G(s)$ . Determinare la posizione di eventuali punti di diramazione “solo in modo qualitativo”.

*Sol.* I poli della funzione  $G(s)$  sono le soluzioni della seguente equazione:

$$s^3 + 13s^2 + (42 + \beta)s + 5\beta = 0$$

che può essere riscritta nel seguente modo  $1 + \beta G_1(s) = 0$ :

$$s(s^2 + 13s + 42) + \beta(s + 5) = 0 \quad \rightarrow \quad 1 + \beta \frac{(s + 5)}{s(s^2 + 13s + 42)} = 0$$

Mettendo in evidenza i poli e gli zeri della funzione  $G_1(s)$  si ottiene:

$$1 + \beta \frac{(s + 5)}{s(s + 6)(s + 7)} = 0$$

Il contorno delle radici al variare del parametro  $\beta > 0$  è mostrato in Fig. 4. Nel contorno

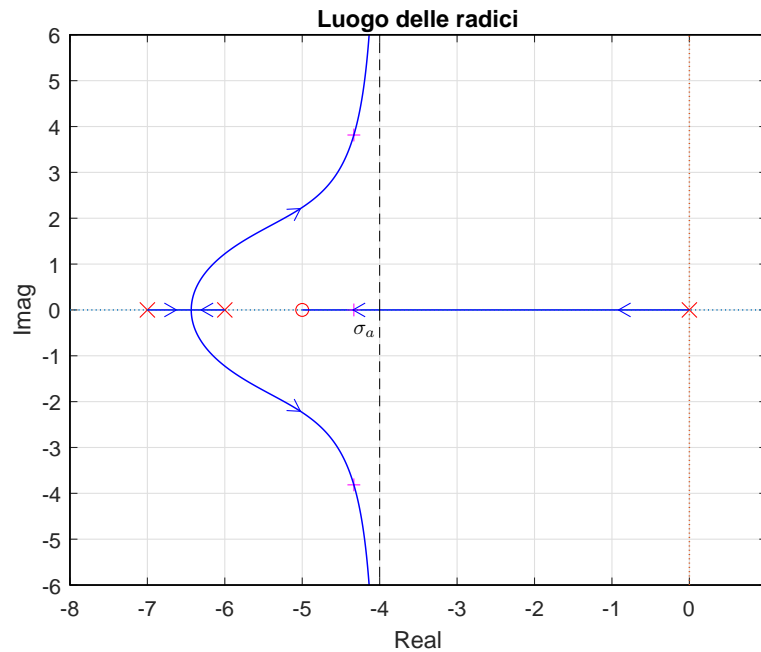


Figura 4: Luogo delle radici del sistema  $G_1(s)$  al variare del parametro  $\beta > 0$ .

delle radici sono presenti due asintoti verticali. Il centro degli asintoti  $\sigma_a$  è il seguente:

$$\sigma_a = \frac{1}{2}(-6 - 7 + 5) = -4$$

La condizione di minimo tempo di assestamento della risposta al gradino del sistema  $G(s)$  si ha quando i tri poli del sistema sono allineati. Tale condizione di allineamento si determina applicando il teorema del baricentro:

$$3\sigma_0 = \sum_{i=1}^3 p_i = -13 \quad \rightarrow \quad \sigma_0 = -\frac{13}{3} = -4.333$$

Il valore  $\beta^*$  a cui corrisponde il minimo tempo di assestamento i determina nel seguente modo:

$$\beta^* = - \left. \frac{1}{G_1(s)} \right|_{s=-4.333} = 28.888.$$



Sintesi della rete correttrice  $C_1(s)$  con altri valori della pulsazione  $\omega_A$ :

$$\begin{aligned}\omega_A &= [ 2.7 \quad 1.5 \quad 1.8 \quad 2.2 \quad 2.7 \quad 3.3 ] \\ M_A &= [ 3.911 \quad 11.02 \quad 8.419 \quad 5.919 \quad 3.911 \quad 2.49 ] \\ \varphi_A &= [ -164.4 \quad -120.5 \quad -134.9 \quad -150.1 \quad -164.4 \quad -176.6 ] \\ M &= [ 0.0255 \quad 0.0090 \quad 0.0118 \quad 0.0168 \quad 0.0255 \quad 0.0401 ] \\ \varphi &= [ -15.6 \quad -59.52 \quad -45.13 \quad -29.87 \quad -15.6 \quad -3.431 ] \\ \tau_1 &= [ 1.291 \quad 0.3854 \quad 0.5438 \quad 0.7762 \quad 1.291 \quad 4.85 ] \\ \tau_2 &= [ 52.54 \quad 84.89 \quad 65.45 \quad 53.24 \quad 52.54 \quad 121 ]\end{aligned}$$

b.2) Per il sistema  $G_b(s)$  progettare una rete correttrice in grado di far passare la funzione di risposta armonica del sistema  $C(s)G_b(s)$  per il punto  $B = (-0.4, -0.4)$ . Scegliere il valore della pulsazione  $\omega$  che si ritiene più opportuno;

*Sol.* La posizione del punto  $B$  è completamente determinata dalla specifica di progetto:  $B = M_B e^{j\varphi_B}$ :  $M_B = 0.5657$  e  $\varphi_B = -135^\circ$ . La regione ammissibile è mostrata in grigio in Fig. 6. Il punto  $A = G_b(j\omega_A)$  scelto per la sintesi della rete correttrice è quello corrispondente alla pulsazione  $\omega_A = 3.3$ :

$$M_A = |G(j\omega_A)| = 1.277, \quad \varphi_A = \arg[G(j\omega_A)] = 193.1^\circ.$$

Sostituendo i valori di  $M$ ,  $\varphi$  e  $\omega = \omega_A$  all'interno delle formule di inversione si ottengono i valori dei parametri  $\tau_1 = 0.620$  e  $\tau_2 = 12.12$  della rete correttrice  $C(s)$ :

$$M = \frac{M_B}{M_A} = 0.337, \quad \varphi = \varphi_B - \varphi_A = -17.5^\circ \quad \rightarrow \quad C_2(s) = \frac{(1 + 0.620 s)}{(1 + 2.024 s)}.$$

Il diagramma di Nyquist delle funzioni  $G_b(s)$  e  $C_2(s)G_b(s)$  sono mostrati in Fig. 6.

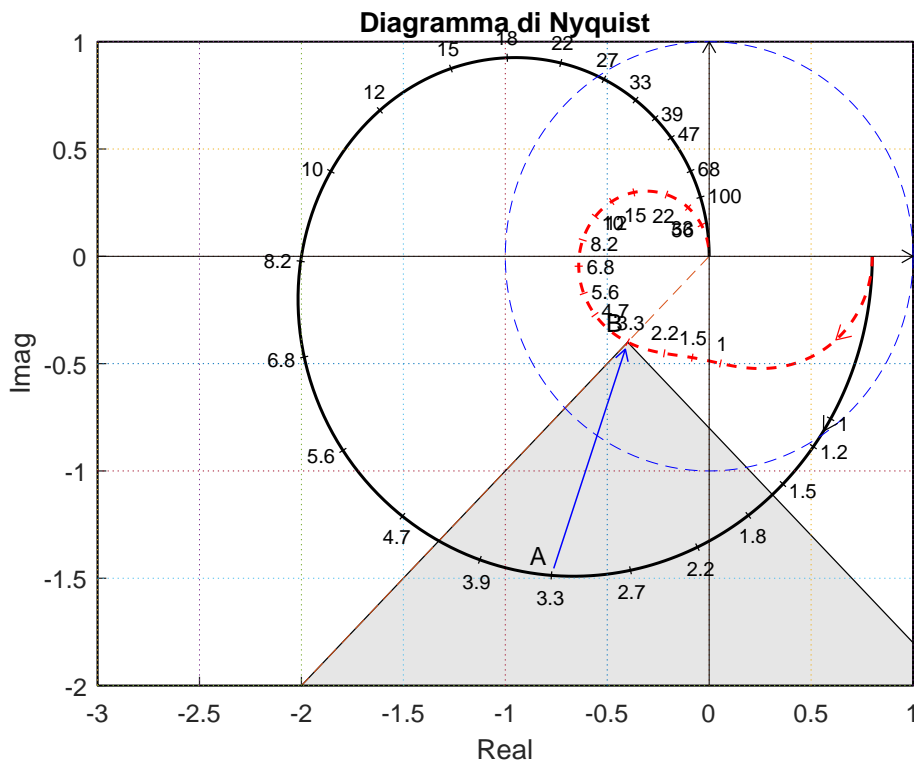
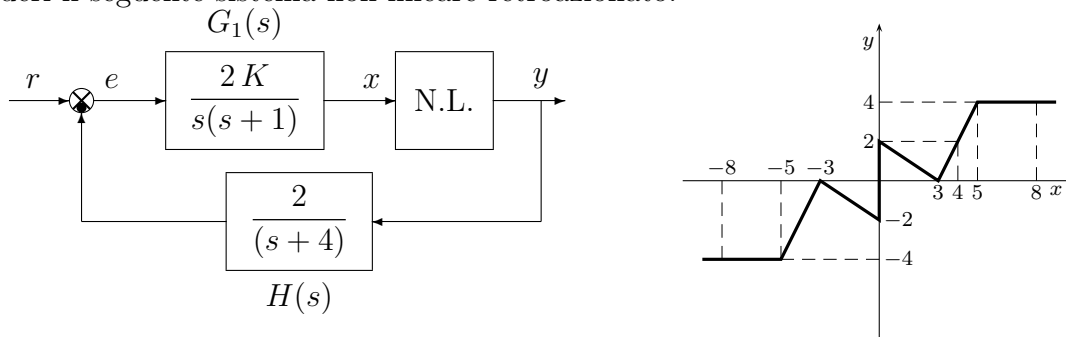


Figura 6: Diagrammi di Nyquist delle funzioni  $G_b(s)$  e  $C_2(s)G_b(s)$ .

Sintesi della rete correttrice  $C_2(s)$  con altri valori della pulsazione  $\omega_A$ :

$$\begin{aligned}\omega_A &= [ 1.8 \quad 2.2 \quad 2.7 \quad 3.3 \quad 3.9 ] \\ M_A &= [ 1.222 \quad 1.356 \quad 1.513 \quad 1.676 \quad 1.807 ] \\ \varphi_A &= [ -80.97 \quad -92.42 \quad -104.8 \quad -117.5 \quad -128.5 ] \\ M &= [ 0.4628 \quad 0.4171 \quad 0.3739 \quad 0.3375 \quad 0.3131 ] \\ \varphi &= [ -54.03 \quad -42.58 \quad -30.22 \quad -17.51 \quad -6.499 ] \\ \tau_1 &= [ 0.0854 \quad 0.2145 \quad 0.3606 \quad 0.6206 \quad 1.542 ] \\ \tau_2 &= [ 1.08 \quad 1.116 \quad 1.332 \quad 2.024 \quad 4.985 ]\end{aligned}$$

c) Si consideri il seguente sistema non lineare retroazionato:



c.1) Posto  $K = 1$ , determinare per quale valore  $r^*$  dell'ingresso  $r$  il punto di lavoro del sistema retroazionato è posizionato in  $(x_1, y_1) = (4, 2)$ .

*Soluzione.* I guadagni statici delle funzioni  $G_1(s)$ ,  $G_2(s)$  e  $H(s)$  sono:  $K_1 = \infty$ ,  $K_2 = 1$  e  $K_3 = 0.5$ . La retta di carico della parte lineare del sistema è:

$$y = \frac{r}{K_2 K_3} = \frac{r}{0.5} \quad \rightarrow \quad r = 0.5 y \quad \rightarrow \quad r^* = 1.$$

c.2) Posto  $K = 1$  ed utilizzando il criterio del cerchio, dire se il sistema retroazionato è stabile o meno nell'intorno del punto  $(x_1, y_1) = (4, 2)$ . Per determinare se vi è intersezione con il cerchio critico calcolare, sul piano di Nyquist, la posizione dell'asintoto verticale della guadagno di anello  $G(s)$ .

*Soluzione.* Le pendenze  $\alpha$  e  $\beta$  delle due rette centrate nel punto  $(x_1, y_1) = (4, 2)$  racchiudono

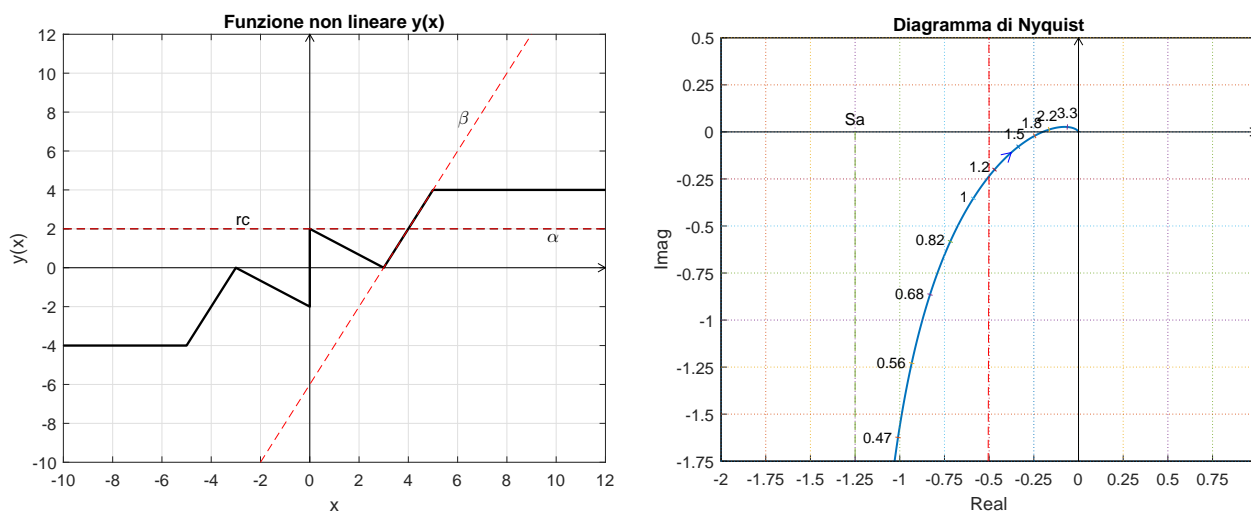


Figura 7: Settore che racchiude la non linearità e cerchio critico.

a settore tutta la non linearità sono le seguenti:

$$\alpha = 0, \quad \beta = \frac{6}{4} = 2.$$

Il cerchio critico interseca il semiasse reale negativo nei punti:

$$-\frac{1}{\alpha} = -\infty, \quad -\frac{1}{\beta} = -\frac{1}{2} = -0.5$$

Per  $K = 1$ , il guadagno d'anello del sistema è:

$$G(s) = G_1(s) H(s) = \frac{4}{s(s+1)(s+4)}$$

Il sistema retroazionato è asintoticamente stabile per:

$$0 < K < K^* = \frac{1 \cdot 4(1+4)}{4} = 5$$

La pulsazione  $\omega^*$  corrispondente al valore limite  $K^*$  è:

$$\omega^* = \sqrt{1 \cdot 4} = 2.$$

La posizione  $\sigma_a$  dell'asintoto verticale della funzione  $G(s)$  sul piano di Nyquist è:

$$\sigma_a = 1 \cdot \left(-1 - \frac{1}{4}\right) = -1.25$$

Il diagramma di Nyquist della funzione  $G(s)$  interseca il cerchio critico e quindi, essendo il criterio del cerchio un criterio solo “sufficiente”, non si può affermare nulla riguardo la stabilità o meno del sistema retroazionato nell'intorno del punto di lavoro  $(x_1, y_1) = (4, 2)$ .

- c.3) Disegnare in modo qualitativo l'andamento della funzione descrittiva  $F(X)$  della non linearità  $y(x)$  nell'intorno del punto  $(0, 0)$ . Utilizzare le variabili  $m_1, m_2, \dots$  per rappresentare gli eventuali valori minimi e massimi “non noti” della funzione  $F(X)$ .

*Soluzione.* L'andamento qualitativo della funzione descrittiva  $F(X)$  è mostrato in Fig. 8. Il valore iniziale  $m_0$  della funzione  $F(X)$  per  $X = 0^+$  è  $m_0 = \infty$ . Indichiamo con  $m_1$  il valore minimo della funzione  $F(X)$  per  $X \simeq 3$ :  $m_1 \simeq \frac{8}{3\pi} - \frac{2}{3} = 0.182$ . Indichiamo inoltre con  $m_2 = 0.644$  il massimo locale che si ha nell'intorno di  $X \simeq 5.7$  e con  $m_2 = 0$  il valore finale a cui tende la funzione  $F(X)$  per  $X \rightarrow \infty$ .

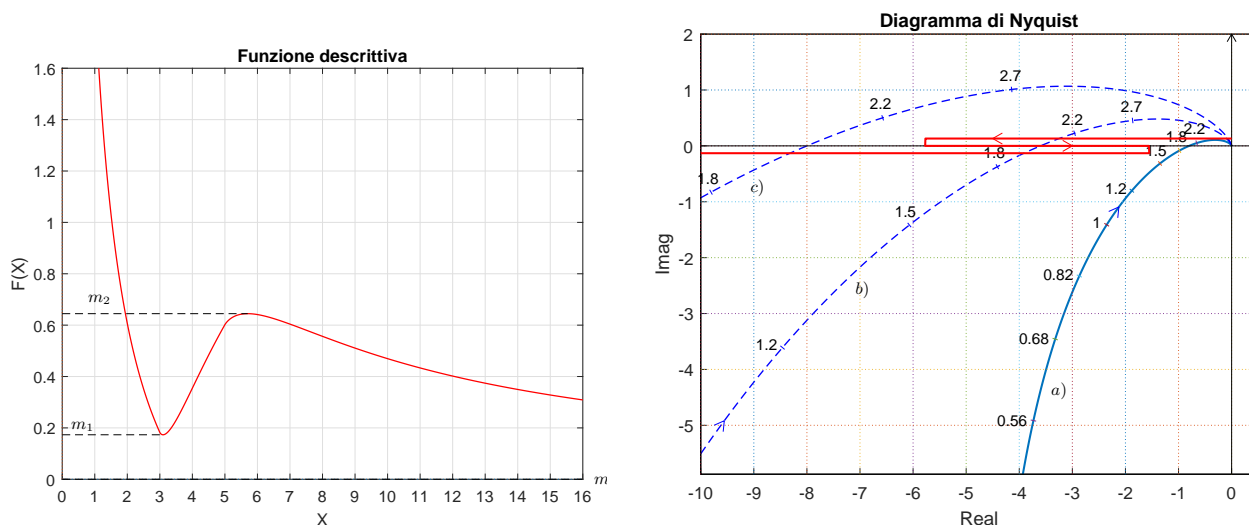


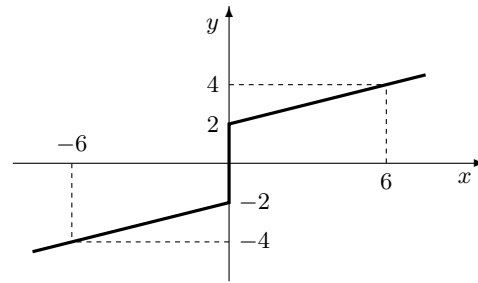
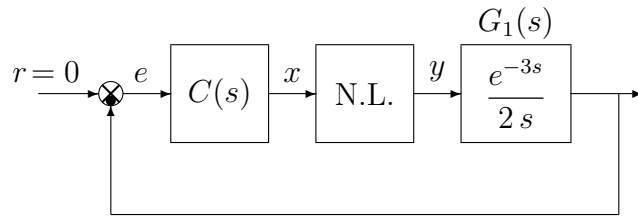
Figura 8: Funzione descrittiva  $F(X)$  e discussione grafica.

- c.4) Discutere “qualitativamente”, in funzione dei parametri  $m_1, m_2, \dots$ , l'esistenza o meno di cicli limite nel sistema retroazionato al variare del guadagno  $K > 0$ .

*Soluzione.* Per  $K = 1$ , il margine di ampiezza  $K_1^*$  del sistema  $G_1(s)$  è  $K_1^* = 5$ . Per  $K \neq 1$ , il margine di ampiezza  $K^*$  del sistema  $K G_1(s)$  è  $K^* = \frac{K_1^*}{K}$ . Al variare di  $K^*$  si possono avere le seguenti condizioni dinamiche per sistema retroazionato:

- Per  $K^* > m_2$  il diagramma di Nyquist della funzione  $G_1(s)$  interseca la funzione  $-1/F(X)$  in un solo punto a cui corrisponde un ciclo limite stabile.
- Per  $m_1 < K^* < m_2$  il diagramma di Nyquist della funzione  $G_1(s)$  interseca la funzione  $-1/F(X)$  in 3 punti a cui corrispondono due cicli limite stabili (il primo e il terzo) e un ciclo limite instabile (il secondo).
- Per  $K^* < m_1$  il diagramma di Nyquist della funzione  $G_1(s)$  interseca la funzione  $-1/F(X)$  in un solo punto a cui corrisponde un ciclo limite stabile.

d) Si consideri il seguente sistema non lineare retroazionato:



dove la non linearità è caratterizzata dalla funzione  $y = f(x)$  mostrata in figura.

d.1) Posto  $C(s) = 1$ , calcolare l'ampiezza  $X^*$  e la pulsazione  $\omega^*$  dell'oscillazione autosostenuta presente all'interno del sistema.

*Sol.* La non linearità N.L. mostrata in figura è la somma di un relè ideale di ampiezza  $Y = 2$  e di una retta di pendenza 0.333 per cui ad essa corrisponde la seguente funzione descrittiva:

$$F(X) = \frac{8}{\pi X} + \frac{1}{3}$$

Applicando il criterio di Nyquist è facile mostrare che i parametri  $K^*$  e  $\omega^*$  del sistema  $G_1(s)$  sono i seguenti:

$$K^* = 2 \cdot \frac{\pi}{2t_0} = \frac{\pi}{3} = 1.047 \quad \omega^* = \frac{\pi}{2t_0} = \frac{\pi}{6} = 0.523$$

Il sistema retroazionato presenta un ciclo limite stabile alla pulsazione  $\omega = \omega^*$  la cui ampiezza  $X$  può essere determinata imponendo:

$$F(X^*) = K^* \rightarrow \frac{8}{\pi X^*} + \frac{1}{3} = \frac{\pi}{3} \rightarrow X^* = \frac{24}{\pi(\pi - 1)} = 3.567$$

d.2) Calcolare i parametri  $\tau_1$  e  $\tau_2$  di una rete correttiva  $C(s) = \frac{1+\tau_1 s}{1+\tau_2 s}$  in modo da garantire che all'interno del sistema retroazionato sia presente un'oscillazione autosostenuta la cui pulsazione  $\omega_a$  e la cui ampiezza  $X_a$  siano:  $\omega_a = 0.25$  e  $X_a = 2$ .

*Sol.* L'ampiezza  $M_A$  e la fase  $\varphi_A$  del punto A della funzione  $G_1(s)$  sono completamente determinati dal valore della pulsazione  $\omega_c$ :

$$M_A = \left| \frac{e^{-3\omega_a j}}{2\omega_a j} \right| = \frac{1}{2\omega_a} = 2, \quad \varphi_A = -\frac{\pi}{2} - 3\omega_a = -2.32 = -132.97^\circ$$

Il punto B sul semiasse reale negativo è completamente definito dalla specifica sull'ampiezza  $X_a$  dell'oscillazione autosostenuta presente all'interno del sistema:

$$B = -\frac{1}{F(X_a)} = -\frac{1}{\frac{8}{\pi X_a} + \frac{1}{3}} = 0.6224.$$

Il modulo e la fase del punto B sono i seguenti:

$$M_B = 0.6224, \quad \varphi_B = -180^\circ$$

I parametri da utilizzare nelle formule di inversione sono:

$$M = \frac{M_B}{M_A} = \frac{0.6224}{2} = 0.3112, \quad \varphi = -47.03^\circ$$

Utilizzando le formule di inversione si ottiene la seguente rete ritardatrice:

$$\tau_1 = \frac{M - \cos \varphi}{\omega \sin \varphi} = 2.025, \quad \tau_2 = \frac{\cos \varphi - \frac{1}{M}}{\omega \sin \varphi} = 13.839 \rightarrow C(s) = \frac{1 + 2.025 s}{1 + 13.839 s}$$

Gli andamenti dei diagrammi di Nyquist delle funzioni  $G_1(s)$  e  $C(s)G_1(s)$  sono mostrati in Fig. 9.

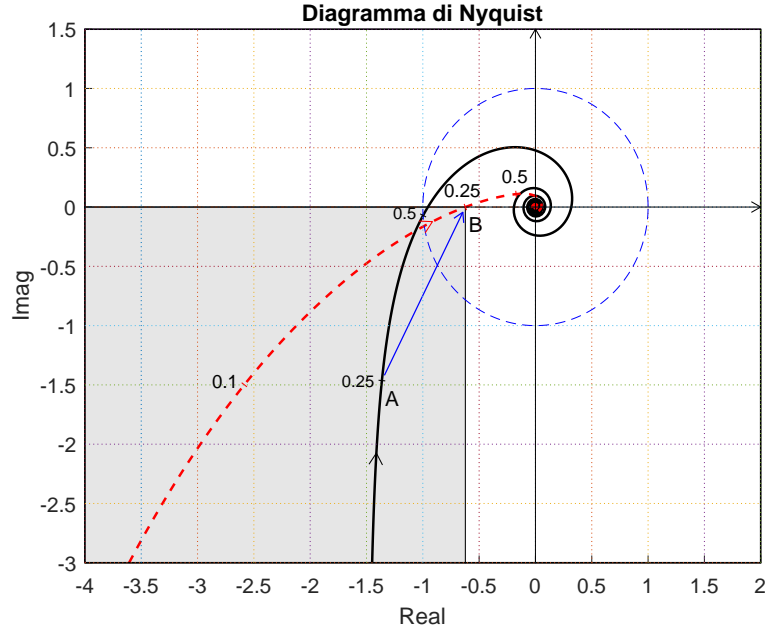


Figura 9: andamenti dei diagrammi di Nyquist delle funzioni  $G_1(s)$  e  $C(s)G_1(s)$ .

e) Utilizzando il metodo della trasformazione bilineare, discretizzare la seguente rete correttiva:

$$D(s) = \frac{M(s)}{E(s)} = \frac{s + 1}{s + 5}$$

giungendo anche alla determinazione della corrispondente equazione alle differenze. Si utilizzi il periodo di campionamento  $T = 0.05$ .

*Soluzione.* Utilizzando il metodo della trasformazione bilineare si ottiene:

$$D(z) = D(s) \Big|_{s=\frac{2}{T} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}} = \frac{2(1-z^{-1}) + T(1+z^{-1})}{2(1-z^{-1}) + 5T(1+z^{-1})} = \frac{3[T + 2 + (T-2)z^{-1}]}{5T + 2 + (5T-2)z^{-1}}$$

Posto  $T = 0.04$  si ottiene:

$$D(z) = \frac{2.05 - 1.95 z^{-1}}{2.25 - 1.75 z^{-1}}$$

La corrispondente equazione alle differenze si ricava dalla relazione:

$$M(z)(2.05 - 1.95 z^{-1}) = E(z)(6.15 - 5.86 z^{-1})$$

ottenendo:

$$m(k) = \frac{1}{2.25} (1.75 m(k-1) + 2.05 e(k) - 1.95 e(k-1))$$

cioè :

$$m(k) = 0.78 m(k-1) + 0.911 e(k) - 0.866 e(k-1)$$

f) Partendo dalla condizione iniziale  $y(0) = 3$ , calcolare la risposta  $y(n)$  del seguente sistema dinamico discreto:

$$y(n+1) = 0.5 y(n) + 2 x(n)$$

quando in ingresso è presente il gradino unitario  $x(n) = 1$ .

*Sol.* Applicando la  $\mathcal{Z}$ -trasformata alla precedente equazione alle differenze si ottiene:

$$zY(z) - y(0)z = 0.5Y(z) + 2X(z)$$

Esprimendo  $Y(z)$  in funzione di  $X(z)$  e  $y(0)$  si ottiene:

$$Y(z) = \frac{y(0)z}{z-0.5} + \frac{2}{z-0.5} X(z) = \frac{3z}{z-0.5} + \frac{2z}{(z-0.5)(z-1)}$$

Scomponendo in fratti semplici si ottiene:

$$Y(z) = \frac{3z}{z-0.5} + z \left[ \frac{4}{z-1} - \frac{4}{z-0.5} \right] = \frac{3z}{z-0.5} + \left[ \frac{4z}{z-1} - \frac{4z}{z-0.5} \right]$$

Antitrasformando si ottiene:

$$y(n) = 4 - 0.5^n.$$

Nome:	
Nr. Mat.	
Firma:	

Rispondere alle domande e ai test che seguono. Per ciascuno dei test segnare con una crocetta le affermazioni che si ritengono corrette.

1. Scrivere l'equazione alle differenze corrispondente alla seguente funzione di trasferimento:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{3 + 5z^{-1}}{1 + 6z^{-1} + 2z^{-2} + 4z^{-3}} \quad \rightarrow \quad y_k + 6y_{k-1} + 2y_{k-2} + 4y_{k-3} = 3x_k + 5x_{k-1}$$

2. Posto  $T = 0.2$  e utilizzando la corrispondenza tra piano- $s$  e piano- $z$ , calcolare il valore del polo  $\beta$  della funzione discreta  $G(z) = \frac{z}{z-\beta}$  in modo che la risposta al gradino unitario del sistema  $G(z)$  sia caratterizzata da un tempo di assestamento  $T_a = 6$  s:

$$\beta = e^{-\sigma T} = e^{-\frac{3}{T_a} T} = e^{-\frac{3}{6} \cdot 0.2} = 0.9048$$

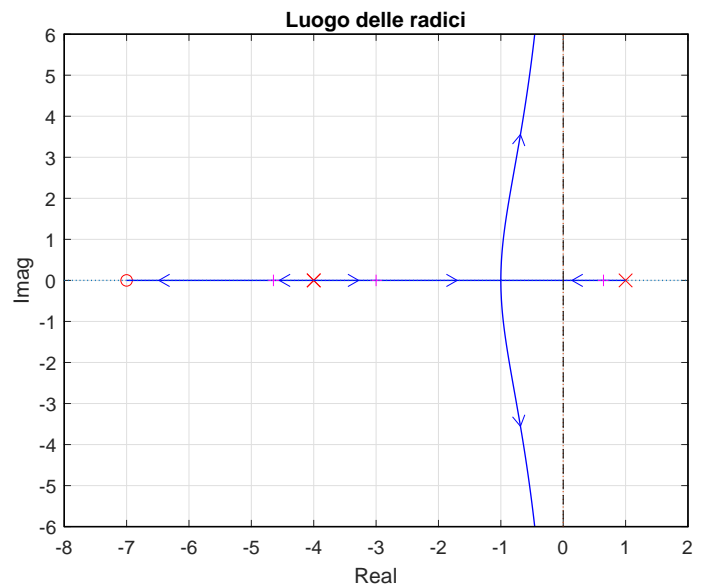
3. A fianco è riportato il luogo delle radici del sistema  $G(s) = \frac{(s+7)}{(s-1)(s+4)^2}$  al variare del parametro  $K > 0$ . Calcolare:

4.1) Il valore  $K_0$  corrispondente alla condizione di minimo tempo di assestamento del sistema retroazionato:

$$K_0 = -\frac{1}{G(s)} \Big|_{s=-1} = 3$$

4.2) Per quali valori di  $K$  il sistema retroazionato è stabile:

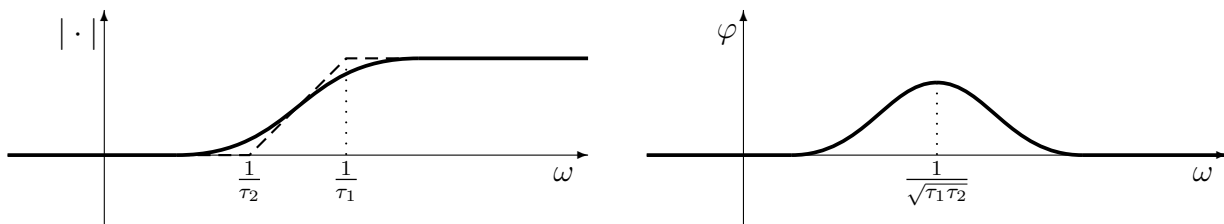
$$K > K^* = -\frac{1}{G(s)} \Big|_{s=0} = \frac{16}{7} = 2.286$$



4. Calcolare la  $\mathcal{Z}$ -trasformata  $X(z)$  dei seguenti segnali tempo continui  $x(t)$  quando  $t = kT$ :

$$x(t) = 5t \quad \rightarrow \quad X(z) = \frac{5Tz}{(z-1)^2} \qquad x(t) = 3^{-2t} \quad \rightarrow \quad X(z) = \frac{z}{(z-3^{-2T})}$$

5. Tracciare i diagrammi di bode (moduli e fasi) di una rete anticipatrice  $C(s) = \frac{(1+\tau_1 s)}{(1+\tau_2 s)}$ , ( $\tau_1 > \tau_2$ ):

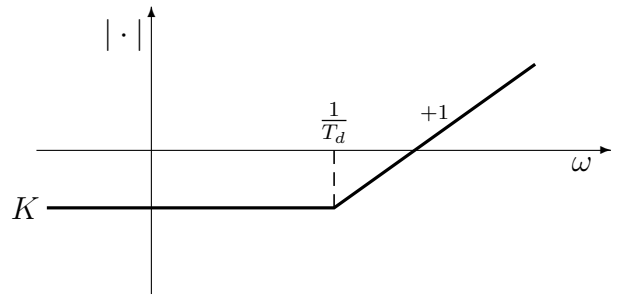


6. Indicare, tra i seguenti sistemi  $G(z)$ , quelli che hanno un'evoluzione libera "stabile e aperiodica":

$G(z) = \frac{1}{(z+0.5)}$      
  $G(z) = \frac{1}{(3z-2)}$      
  $G(z) = \frac{1}{(3z+2)}$      
  $G(z) = \frac{1}{(z-0.3)}$

7. Scrivere la funzione di trasferimento  $G(s)$  di un regolatore standard PD e a fianco disegnare qualitativamente il corrispondente diagramma di Bode dei moduli:

$$G(s) = K(1 + T_d s)$$



8. Sia  $X(z) = \mathcal{Z}[x(k)]$  la  $\mathcal{Z}$ -trasformata della successione  $x(k)$ . Per  $n = 1, 2, \dots$ , enunciare il teorema della traslazione nel tempo nei seguenti 2 casi: a) ritardo e b) anticipo:

a)  $\mathcal{Z}[x(k - n)] = z^{-n} X(z)$

b)  $\mathcal{Z}[x(k + n)] = z^n [X(z) - \sum_{k=0}^{n-1} x(k)z^{-k}]$

9. La funzione discreta  $D(z)$  riportata sotto è stata ottenuta dalla funzione  $D(s)$  utilizzando il metodo della corrispondenza poli-zeri. Calcolare il parametro  $k$  imponendo l'uguaglianza dei guadagni alle alte frequenze:

$$D(s) = \frac{s + 2}{s} \quad \rightarrow \quad D(z) = k \frac{z - e^{-2T}}{z - 1} \quad \rightarrow \quad k = \frac{2}{1 + e^{-2T}}$$

10. Scrivere la funzione di trasferimento  $H_0(s)$  del ricostruttore di ordine 0:

$$H_0(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s}$$

11. Come si determina la funzione di risposta armonica  $F(\omega)$  di un sistema discreto  $G(z)$ ?

$F(\omega) = G(j\omega)$

$F(\omega) = G(j\omega T)$

$F(\omega) = G(e^{j\omega})$

$F(\omega) = G(e^{j\omega T})$

12. Indicare quali delle seguenti specifiche di progetto vengono considerate “specifiche statiche”:

Margine di fase;

Errore a regime per ingresso a gradino;

Larghezza di banda;

Insensibilità alla variazioni parametriche alle basse frequenze;

13. Sulla figura riportata a fianco, disegnare l'adattamento qualitativo, per  $K = 1$ , del diagramma di Nyquist del seguente sistema a ritardo finito:

$$G(s) = \frac{K e^{-2s}}{(s + 1)}$$

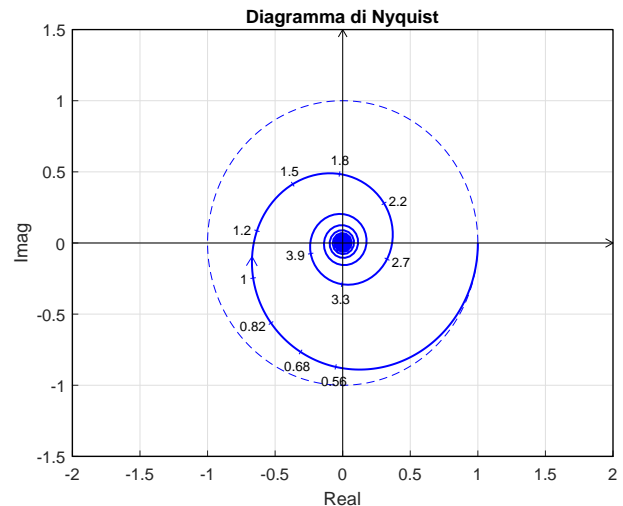
Indicare per quali dei seguenti valori del parametro  $K$  il sistema retroazionato è sicuramente stabile:

$K > 1$

$K < 1$

$K > 2$

$K < 2$



14. Sia dato un sistema dinamico non lineare retroazionato (di quelli trattati a lezione) caratterizzato dalla presenza di un solo ciclo limite **instabile**. Nei limiti della precisione del metodo della funzione descrittiva, è possibile affermare che:

il sistema è stabile se la condizione iniziale è molto vicina all'origine;

il sistema è instabile se la condizione iniziale è molto vicina all'origine;

il sistema è stabile se la condizione iniziale è molto lontana dall'origine;

il sistema è instabile se la condizione iniziale è molto lontana dall'origine;