

- 1) La Figura 1 mostra lo schema cinematico funzionale del dito di Stanford/JPL e del relativo sistema di attuazione mediante tendini inestensibili e pulegge. Il dito è schematizzato come un robot seriale costituito dai link L_i , ($i = 0, \dots, 3$) (L_0 rappresenta il telaio) di lunghezze a_i incernierati in A , B e C . Si prenda il punto D come origine della terna End-Effector. L'attuazione del dito è realizzata mediante 4 tendini inestensibili che si impegnano sulle pulegge come rappresentato in Figura 1. Ciascun tendine con il relativo sistema di pulegge interessate viene definito *linea di trasmissione*. Ad esempio, la linea di trasmissione del tendine 1 è costituita dal tendine rosso, collegato a L_3 , dalla puleggia calettata su C di raggio r_3 , dalla puleggia su B di raggio r_8 e, infine, dalla puleggia su A di raggio r_4 . Con s_1 si indica lo spostamento del capo libero del tendine 1. Considerazioni analoghe possono essere fatte per le altre 3 linee di trasmissione. Le pulegge calettate su A hanno raggi (crescenti): r_4, r_5, r_6 ed r_7 , su B : r_8 ed r_2 , su C : r_3 .

Si noti che le pulegge sono: (i) calettate “folli” sui rispettivi assi, (ii) ruotano indipendentemente l'una dall'altra e dai link, (iii) è solo la presenza dei tendini inestensibili ad introdurre delle relazioni vincolari fra le loro rotazioni e quelle dei link (es. per la presenza del tendine 1 collegato a L_3 si avrà $\theta_{p_3} = \theta_3$).

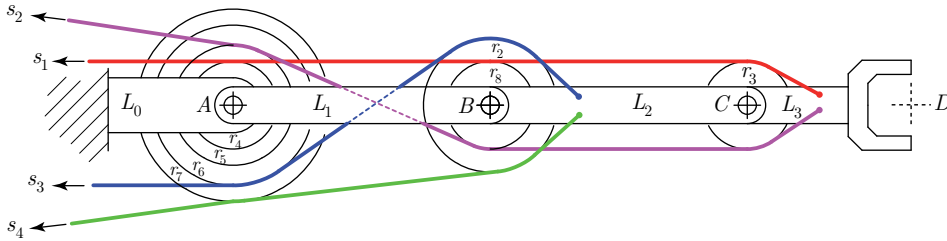


Figura 1: Schema funzionale del sistema di attuazione del dito di Stanford/JPL.

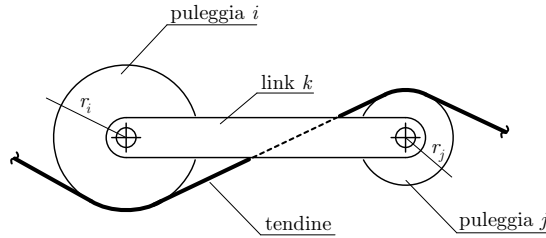


Figura 2: Schema per la scrittura dell'equazione del circuito elementare.

Fissato come positivo il verso antiorario, si indichino con θ_k la rotazione del link k , con θ_{p_j} la rotazione della puleggia j , con q_k la rotazione relativa del link k rispetto al link $k - 1$ ($q_k = \theta_k - \theta_{k-1}$). Con riferimento alla Figura 2, considerando ciascun tendine inestensibile e trascurando variazioni di tensione all'interno di una stessa linea (ad es. in presenza di inerzia delle pulegge e per fenomeni di attrito e isteresi), si scriva: (i) l'equazione che lega θ_{p_j} , θ_{p_i} e θ_k , tenendo conto del percorso (incrociato o parallelo) del tendine fra due pulegge consecutive; (ii) l'equazione che lega le rotazioni del link k , del link $k + 1$ e della puleggia interposta fra questi (formula di composizione di rotazioni relative); (iii) si combinino opportunamente queste equazioni per ottenere, per la singola linea di trasmissione, l'equazione che lega la rotazione assoluta della puleggia più prossima al telaio ai vari q_i ; (iv) si scriva la relazione che lega la rotazione assoluta della puleggia più prossima al telaio allo spostamento del capo libero del tendine s_i (si prenda $s_i > 0$ per tendine in trazione); (v) si scriva, per la singola linea di trasmissione, l'equazione che lega lo spostamento del capo libero del tendine ai vari q_i ; (vi) si scrivano le 4 equazioni di vincolo che legano gli spostamenti $\mathbf{s} = [s_1 \dots s_4]^T \in \mathbb{R}^4$ alle rotazioni $\mathbf{q} = [q_1 \dots q_3]^T \in \mathbb{R}^3$; (vii) si discuta la capacità di conoscere la configurazione \mathbf{q} del dito noti gli spostamenti dei capi dei tendini \mathbf{s} ; (viii) applicando il Principio dei Lavori Virtuali si determini la relazione fra le coppie (interne) ai giunti $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^3$ e le tensioni nei tendini $\boldsymbol{\xi} \in \mathbb{R}^4$ ($\xi_i > 0$ se tendine è teso); (ix) si scriva la forma generale della relazione fra le coppie $\boldsymbol{\tau}$ e le tensioni nei tendini $\boldsymbol{\xi}$ e si discuta la possibilità di realizzare coppie arbitrarie agendo sul sistema di tendini (il tendine non trasmette azioni di compressione!); (x) si scriva la relazione che, all'equilibrio, lega un wrench esterno \mathbf{w}_D e le tensioni $\boldsymbol{\xi}$.