

Spazio Operazionale/Posa: contiene le coordinate cartesiane dell'end effector e l'orientamento

Spazio dei giunti: vettore q ($1 \times n$) contenente θ_i per giunti rotazionali e d_i per giunti prismatici

Spazio di lavoro: posizione dell'end effector ottenibili attraverso tutti i movimenti consentiti dai giunti

- **Raggiungibile:** posizione raggiungibili dall'end effector con diversi orientamenti
- **Destorso:** posizioni raggiungibili dall'end effector con almeno un orientamento

Cinematica differenziale: relazione tra la velocità dei giunti e la corrispondente velocità lineare ed angolare dell'end effector

Mappatura realizzata tramite (non sono uguali)

- **Giacobiano geometrico**

- **Giacobiano analitico:** differenziazione della funzione di cinematica diretta rispetto ai giunti

Utile per trovare singolarità, analizzare ridondanze, algoritmi di cinematica inversa, mappare la relazione tra forza applicata ad un giunto e coppia risultante sull'end effector (statica) e dinamica

Relativo al giacobiano geometrico

Singolarità: Rappresentano una configurazione con mobilità limitata, cioè non è possibile imporre un movimento arbitrario all'end effector, inoltre una piccola velocità nello spazio operazionale può portare ad elevate velocità nello spazio dei giunti, infine la cinematica inversa potrebbe avere infinite soluzioni. Possiamo individuarle con il Jacobiano perché quando raggiungiamo una posizione di singolarità la matrice perde rango: questo è dovuto al fatto che le componenti di J diventano linearmente dipendenti e quindi abbiamo una situazione di mobilità limitata dovuta al fatto che per ottenere un movimento dell'end effector abbiamo necessità di muovere più giunti in maniera dipendente.

Possono essere di due tipi:

- **Boundary:** si verificano quando il manipolatore è completamente disteso o contratto, sono relativamente facili da evitare

- **Interne:** si verificano quando due o più giunti si allineano, sono un problema complesso in quanto si potrebbero verificare in un punto qualunque dello spazio raggiungibile

Possono essere individuate osservando quando la matrice giacobiana perde rango (oppure $\det(j) = 0$), per strutture cinematiche complesse si utilizza il "decoupling", suddividendo la matrice giacobiana in sottomatrici relative a sotto insiemi di giunti del manipolatore

Singolarità del polso: abbiamo tre giunti, di cui uno centrale ortogonale e due allineati se il giunto ortogonale è a zero o π , rotazioni dei due giunti esterni allineati in verso opposto non producono nessun cambiamento nella posizione dell'end effector

Singolarità del braccio: consideriamo il braccio antropomorfo, se il terzo giunto viene messo a π , tutte le rotazioni sul primo giunto portano alla stessa posizione dell'end effector

Analitico serve a poco, posso passare al geometrico con un cambio di base, il geometrico aiuta anche con le singolarità