

- 1) Scrivere su ciascun foglio protocollo consegnato dal docente: data, nome, cognome e numero di matricola. Riconsegnare tutti i fogli consegnati dal docente indicando quali sono i fogli di bella che saranno gli unici a essere valutati. Non sarà valutato quanto sarà scritto su questo foglio.
- 2) E' consentito l'utilizzo solo di: fogli forniti, penna, righello, calcolatrice (che non offra la possibilità di memorizzare formule). A chi fosse trovato altro materiale, sarà annullata la prova automaticamente e inderogabilmente.
- 3) La prova sarà istantaneamente e inderogabilmente annullata anche a chi fosse colto a parlare con gli altri candidati. E' consentito parlare solo col docente.

## TESTO DELLA PROVA

Ad un paziente che deve essere sottoposto ad intervento di fusione spinale posteriore con viti è stata acquisita un'immagine CT.

### Quesito 1 (Punti 6)

Nell'immagine sono stati identificati 3 riferimenti fiduciali anatomici sulla schiena del paziente. Le coordinate dei baricentri di detti riferimenti fiduciali in CT sono:

$$f_{CT1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; f_{CT2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix}; f_{CT3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -21 \end{bmatrix}$$

e le coordinate dei medesimi punti acquisiti manualmente in sala operatoria con il puntatore del sistema di navigazione nel sistema di riferimento L sono:

$$f_{L1} = \begin{bmatrix} 0 \\ -28.5 \\ 0 \end{bmatrix}; f_{L2} = \begin{bmatrix} 0 \\ -21.5 \\ 18 \end{bmatrix}; f_{L3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Tramite le tre coppie di punti il sistema di riferimento CT è stato registrato con il sistema di riferimento L ottenendo:

$${}^L T_{CT} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -21.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Determinare l'errore di registrazione globale FRE in termini di scarto quadratico medio.

### Quesito 2 (Punti 6)

E' a disposizione un arco a C integrato con il sistema di navigazione. Sull'arco a C è presente un sensore S a 6 gradi di libertà compatibile con il localizzatore. Le immagini possono essere utilizzate per migliorare la registrazione con approccio 3D/2D. La registrazione iniziale è stata utilizzata per eseguire una registrazione 3D/2D il cui risultato nel sistema di riferimento L è il seguente:

$${}^L T_{L_{Raf}} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -8 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

La registrazione 3D/2D di raffinamento è stata eseguita rispetto alla vertebra sulla quale è stato acquisito il punto  $f_{CT1}$  che si trova idealmente sulla sommità del processo spinoso corrispondente. Determinare quanto vale ora l'errore di registrazione TRE su detto target  $f_{CT1}$ . Determinare inoltre quanto vale ora l'errore di

registrazione TRE sul punto  $f_{CT2}$  che si trova idealmente sulla sommità del processo spinoso di una vertebra posizionata 5 livelli più in alto.

Quesito 3 (Punti 6)

Perché al punto precedente è corretto parlare di TRE rispetto ai punti  $f_{CT1}$  e  $f_{CT2}$  (che sono stati utilizzati come punti fiduciali per eseguire la prima registrazione per punti corrispondenti)? (2 punti)

Quale può essere la motivazione della differenza d'errore di registrazione tra  $f_{CT1}$  e  $f_{CT2}$  dopo la registrazione 3D/2D? (4 punti)

Quesito 4 (Punti 6)

Il sistema di navigazione permette di offrire funzionalità di realtà aumentata utilizzando come sorgente reale le immagini ai raggi X. A tal fine:

- sono stati determinati i parametri di proiezione dell'arco a C;
- è possibile leggere istante per istante la matrice di trasformazione  ${}^L T_S$  tra il sensore S montato solidalmente all'arco a C ed il localizzatore;
- è stata calcolata la matrice di calibrazione  ${}^S T_C$  che lega il sistema di riferimento del sensore a quello del sistema di riferimento di una camera prospettica che modella l'acquisizione delle immagini ai raggi X.

In uno scenario virtuale, il cui sistema di riferimento globale è R, supponiamo che il target chirurgico virtuale da mostrare sia già stato posizionato nella giusta posizione, tenendo come riferimento la posizione del target reale rispetto al sistema di riferimento L, in altre parole la posizione del target in L sia stata replicata in R. Nello stesso scenario è possibile posizionare una camera virtuale CV settando la matrice di trasformazione  ${}^R T_{CV}$ , dove CV è un sistema di riferimento solidale alla camera virtuale, del tutto analogo al sistema di riferimento C della camera reale. Determinare algebricamente  ${}^R T_{CV}$  affinché l'immagine virtuale acquisita possa essere coerente con quella reale e spiegare se questa matrice debba essere settata o meno una sola volta durante l'intervento.

Quesito 5 (Punti 6)

Sulla base di tutto quanto scritto in precedenza, avendo a disposizione i modelli virtuali di ciascuna vertebra  $i$ , ottenuti dall'immagine CT, le cui coordinate si trovano in strutture matriciale  $V_{CTi}$ , descrivere qual è la procedura ottimale per posizionare correttamente ogni vertebra virtuale in R e determinare algebricamente la/le matrici di registrazione  ${}^R T_{CTi}$  per ciascuna vertebra che permettono di registrare le vertebre in R ( ${}^R T_{CTi} * V_{CTi}$ ).