

- 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) È 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. È consentito parlare solo col docente.

TESTO DELLA PROVA

A un paziente con frattura scomposta della tibia viene acquisita un'immagine CT. Dal volume 3D vengono segmentati la tibia e i due frammenti ossei distaccati, ottenendo i corrispondenti modelli virtuali tridimensionali. La riduzione della frattura viene quindi pianificata virtualmente roto-traslando i frammenti nel sistema di riferimento CT, fino a portarli nella posizione corretta rispetto alla tibia. In questo modo, il planning è costituito dai modelli 3D nella configurazione ridotta, espressi nel sistema di riferimento CT.

Il C-Arm disponibile in sala operatoria, che acquisisce immagini RX 2D, è dotato di un software per il tracciamento di un puntatore con marcatori radiopachi e per la registrazione 3D-2D del planning rispetto alle immagini RX 2D. Inoltre, sulle immagini RX 2D vengono visualizzate in realtà aumentata le proiezioni della tibia e dei frammenti ossei nella posa ottimale pianificata.

Quesito 1 (Punti 6)

La tibia è inizialmente registrata utilizzando tre riferimenti anatomici identificati nella CT e sull'osso tramite il puntatore, con coordinate espresse nel sistema di riferimento del C-Arm:

$$\begin{aligned} f_{CT1} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & f_{CT2} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix} & f_{CT3} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 14 \end{bmatrix} \\ f_{Carm1} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{bmatrix} & f_{Carm2} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 3 \end{bmatrix} & f_{Carm3} &= \begin{bmatrix} -14 \\ 15 \\ 5 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

e matrice di registrazione:

$${}^{carm}T_{CT} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Determinare l'errore globale di registrazione sui punti fiduciali, espresso come FRE RMS.

Quesito 2 (Punti 6)

Alla prima registrazione segue una registrazione 3D-2D ottenendo la trasformazione di ottimizzazione:

$${}^{carm'}T_{Carm} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Determinare l'errore globale di registrazione, espresso come FRE RMS, sugli stessi punti fiduciali utilizzati nel quesito 1.

Quesito 3 (Punti 6)

Dopo la seconda registrazione viene attivata la realtà aumentata: la tibia virtuale appare all'utente perfettamente sovrapposta alla tibia reale visibile nell'immagine RX, con un disallineamento sul piano immagine sicuramente inferiore al millimetro. Inoltre, la frattura ha prodotto superfici oblique che rendono la morfologia ossea chiaramente non simmetrica. Di conseguenza, l'allineamento virtuale-reale sembra indicare un'ottima registrazione della CT rispetto al sistema di riferimento del C-Arm in tutte e tre le dimensioni, e non solo sul piano dell'immagine. Come si può spiegare, allora, che l'errore di registrazione calcolato sui punti fiduciali identificati nella CT e confrontati con quelli acquisiti tramite puntatore rimanga elevato anche dopo la registrazione 3D-2D, in contrasto con l'ispezione visiva in AR?

Quesito 4 (Punti 6)

Ai fini del tracciamento e della funzionalità di realtà aumentata, il C-Arm è stato calibrato ottenendo le coordinate del punto principale pari a 510 e 490 pixel, rispettivamente lungo x e y, e $F_x = F_y = 1300$ pixel.

Scrivere la matrice dei parametri intrinseci K e determinare l'angolo di vista, considerando una risoluzione dell'immagine pari a 1000×1000 pixel.

Quesito 5 (Punti 6)

L'immagine in realtà aumentata è generata su un'immagine RX ridotta di un fattore 2:1; in altre parole, la risoluzione dell'immagine passa da 1000×1000 a 500×500 pixel. Determinare la nuova matrice K da impostare per la camera virtuale.