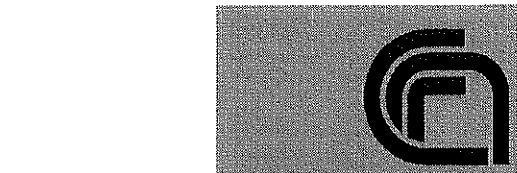


Consiglio Nazionale delle Ricerche

Stazione di Lavoro per la Cheratometria Intraoperatoria

Massimo Chimenti, Renzo Bozzi, Salvatore Minutoli, Luciano Azzarelli

B4-24
dic-1997

S.T.A.R.
Servizio Tecnografico Area della Ricerca del CNR - Pisa
marzo '98 101,50

Collaborazione IEI-CNR Istituto di Clinica Oculistica, Un. di Pisa

Stazione di lavoro per la cheratometria intraoperatoria

Massimo Chimenti, Renzo Bozzi, Salvatore Minutoli, Luciano Azzarelli

Istituto di Elaborazione della Informazione - CNR

Descrizione generale

La stazione di lavoro, realizzata durante una precedente collaborazione con l'Istituto di clinica Oculistica [1], è stata modificata al fine di migliorarne l'efficienza e la manovrabilità.

L'architettura hardware della stazione è attualmente costituita da:

- un dispositivo per la ripresa delle immagini (microscopio chirurgico e telecamera)
- una piattaforma elaborativa, comprendente una scheda per l'acquisizione del segnale video e un monitor per la rappresentazione delle immagini.

La procedura per la misura della curvatura corneale è rimasta sostanzialmente invariata. La telecamera della stazione inquadra l'occhio del paziente, che forma l'immagine riflessa della sorgente luminosa, costituita da dodici LED disposti su un anello collocato sull'obiettivo del microscopio. La procedura individua automaticamente le immagini puntiformi dei singoli LED e ne determina le coordinate. I punti vengono raggruppati in sei coppie, secondo un criterio predefinito, e viene calcolata le distanza in pixel tra i punti di ciascuna coppia, ricavando così le lunghezze di sei meridiani predefiniti; facendo uso di parametri di calibrazione determinati in precedenza, la procedura fornisce le misure del raggio di curvatura lineare lungo i sei meridiani in corrispondenza di un cerchio di raggio eguale a circa 3 mm [2].

Dal punto di vista hardware, la principale differenza della stazione rispetto alla versione precedente consiste nell'impiego di una scheda Matrox Meteor per l'acquisizione delle immagini. I dati prodotti dal campionamento del segnale d'ingresso vengono inseriti nella memoria della scheda VGA (Matrox Millennium), in modo che le immagini digitali sono rappresentate sul monitor del calcolatore.

All'attivazione dei programmi, la scheda Meteor viene configurata automaticamente nel modo monocromatico, con ingresso video sul canale 0 (R) e sincronismo sul canale 3 (separato). Se si fa uso di una telecamera a colori con uscita RGB, è opportuno inviare sull'ingresso della scheda Meteor

la componente cromatica che fornisce l'immagine più conveniente per le operazioni di calibrazione e misura.

Il software sviluppato per la stazione di lavoro è costituito sostanzialmente da tre programmi, che vengono utilizzati rispettivamente nelle fasi di taratura, calibrazione e misura: i programmi di taratura e di calibrazione del sistema devono essere eseguiti soltanto al momento dell'installazione oppure in seguito a modifiche delle componenti ottiche e optoelettroniche della stazione, mentre il programma di misura viene eseguito ogni volta che si compie un esame cheratometrico. La figura 1 mostra i collegamenti tra i moduli, che sono descritti in dettaglio nel seguito.

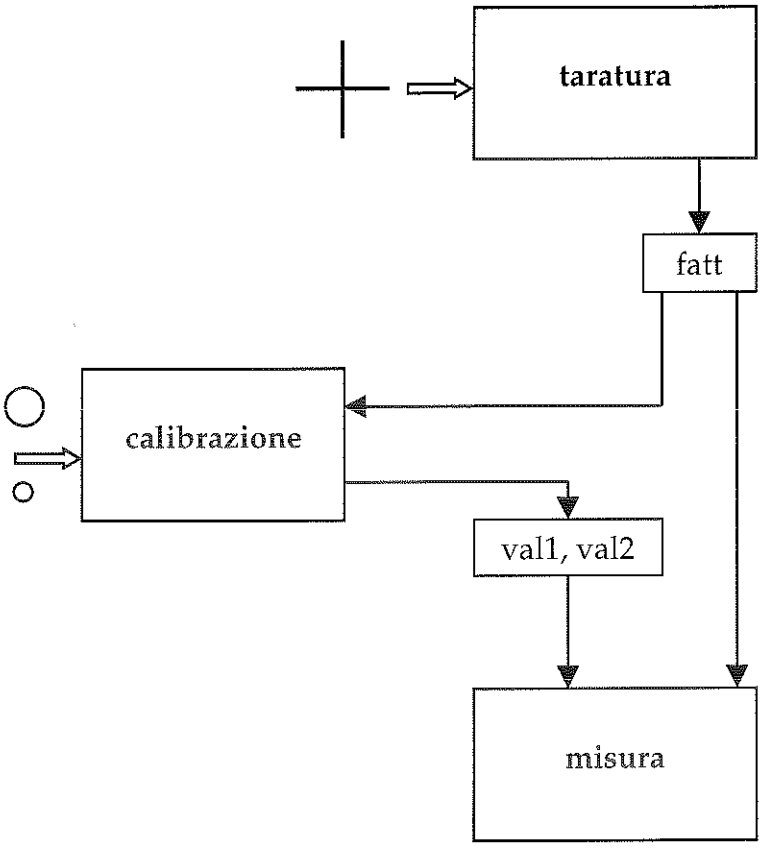


Figura 1. Fasi della procedura di cheratometria.

Taratura

Questa operazione viene eseguita per determinare le eventuali distorsioni geometriche introdotte dalla telecamera di ripresa, ad esempio quando la matrice del trasduttore è costituita da celle rettangolari. La verifica consiste nell'acquisire un segmento posto parallelamente alle righe del trasduttore (asse x) e alle colonne (asse y) e nel determinarne le lunghezze sulle immagini acquisite: se i passi di campionamento nelle direzioni x e y sono eguali, anche le lunghezze misurate, rispettivamente Dx e Dy, risultano eguali, altrimenti si ottiene un valore del parametro Fatt $\equiv Dy/Dx \neq 1$.

Il programma di servizio INIZIA, eseguibile in ambiente DOS, crea il file &M$, che contiene i parametri Val1, Val2 (definiti nel seguito) e Fatt, assegnando loro dei valori costanti; il programma RILMET, anch'esso eseguibile in ambiente DOS, consente di leggere i valori dei parametri e di modificarli manualmente: in particolare, durante la fase di taratura, il valore di Fatt determinato in precedenza viene inserito nel file &M$ mediante il programma RILMET.

Calibrazione

Questa operazione viene eseguita per determinare i parametri che consentono di ottenere le misure del raggio di curvatura corneale, partendo dalle misure di distanza in pixel; in base al principio di formazione delle immagini riflesse su una superficie speculare convessa si ha infatti [3]:

$$r = b \times diam + c \qquad (1$$

dove r = raggio di curvatura della superficie e diam = dimensione dell'immagine.

Nella procedura di calibrazione si fa uso inizialmente della relazione inversa all'eq. 1. Sei sfere metalliche con raggio di curvatura noto, illuminate con la sorgente cheratometrica a dodici LED, sono riprese dalla telecamera istallata sul microscopio ottico. Per ogni sfera, il programma di calibrazione determina le lunghezze in pixel dei sei diametri e ne calcola il valore medio e la deviazione standard; al termine delle acquisizioni, il programma chiama una routine, che esegue la regressione lineare:

$$Y = m \times X + c \qquad (2$$

dove:
X ≡ variabile indipendente = insieme dei valori dei raggi delle sfere
Y ≡ variabile dipendente = insieme dei valori medi

La routine fa uso anche dell'insieme dei valori di deviazione standard determinati in precedenza e fornisce i valori del coefficiente angolare (m) e dell'intercetta (c) della retta calcolata mediante il metodo dei minimi quadrati, nonché il valore del coefficiente di correlazione r. Poiché il programma di

misura determina il raggio di curvatura in funzione delle lunghezze misurate sulle immagini, il programma di calibrazione calcola i parametri Val1 = 1/m, Val2 = -c/m e li inserisce automaticamente nel file &M$.

Misura

L'operazione di misura del raggio di curvatura corneale è rimasta essenzialmente inalterata rispetto alla precedente versione implementata sotto il sistema operativo DOS, tranne per il fatto che all'avvio il programma legge automaticamente il file &M$ e ne estrae i parametri Val1, Val2, Fatt, utilizzati nei vari algoritmi impiegati;

La scheda Meteor può funzionare in ambiente Windows 95 o NT, ed è stato quindi possibile realizzare un'interfaccia utente di tipo iconico, secondo gli standard dei programmi applicativi di maggiore impiego; questo tipo di interfaccia è usato anche dal programma di calibrazione.

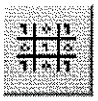
Comandi dell'interfaccia

Le icone dell'interfaccia grafica attivano le seguenti operazioni.

Attiva la visualizzazione in presa diretta dalla telecamera. All'avvio della procedura viene avviata automaticamente.

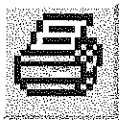
Esegue l'acquisizione dell'immagine corrente e vi sovrappone la regione d'interesse (ROI), in cui il programma esegue la ricerca delle immagini dei LED del cheratometro. La ROI è definita da una cornice di 400 x 400 pixel, centrata automaticamente rispetto allo schermo; la ROI può essere traslata mediante il mouse.

Attiva la visualizzazione dell'ultima immagine acquisita.

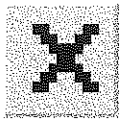
 Avvia la procedura di misura sull'immagine acquisita e rappresentata sul monitor.

Richiama un'immagine dall'archivio.

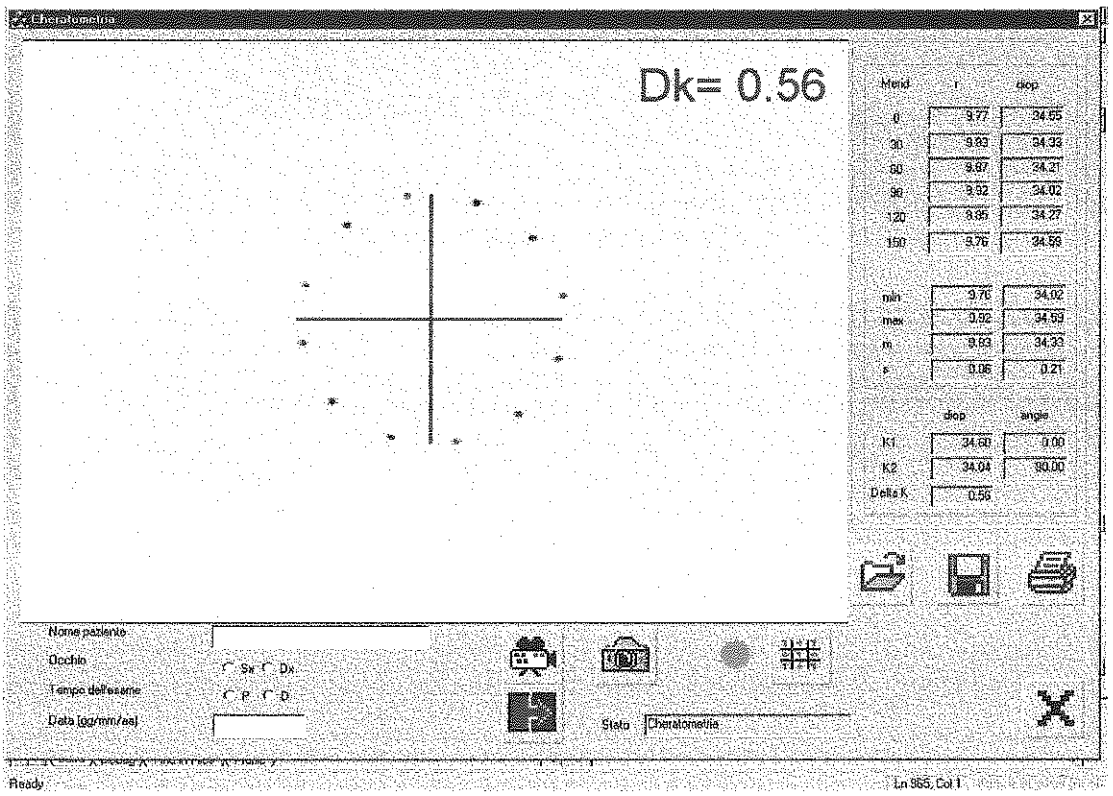
Salva l'immagine acquisita nell'archivio.



Stampa lo schermo (immagine elaborata e risultati)



Termina la procedura di cheratometria



Interfaccia di gestione e restituzione

Risultati

Il metodo di taratura del sistema, seguito al fine di ricavare il fattore di scala Fatt, è stato messo a punto usando uno specchio e una sorgente luminosa costituita da dodici LED posti ad intervalli regolari su una circonferenza di 7 cm di raggio; la sorgente è stata ruotata in modo che una coppia di LED sia allineata con l'asse x ed un'altra coppia con l'asse y del sistema di riferimento dell'immagine digitale.

Inizialmente la telecamera è stata messa in posizione e focalizzata in modo che la sua immagine riflessa dallo specchio fosse centrata rispetto al monitor (vedi figura 2): ciò assicura, con sufficiente approssimazione, che l'asse ottico dell'obiettivo sia perpendicolare al piano dello specchio, in modo da non introdurre degli errori di misura.

Successivamente, la telecamera è stata focalizzata sul piano della sorgente luminosa, posta sullo specchio in posizione centrata rispetto all'immagine della telecamera stessa (vedi figura 3). L'immagine è stata quindi acquisita e su di essa sono state determinate manualmente le distanze tra le coppie di LED sugli assi del sistema di riferimento dell'immagine (vedi figura 4). Nell'esempio mostrato, le misure sono state fatte mediante il programma Matrox Inspector, che fa uso della scheda Meteor: la tabella 1 mostra i risultati ottenuti impiegando una telecamera Sony DCX-151P, con obiettivo Javelin f/1,8, 12,5 ÷ 75 mm.

Line	Point 1	Point 2	Length
1	384, 155	377, 455	300
2	540, 307	225, 300	315

Tabella 1. Misure eseguite per determinare il fattore di scala del dispositivi di ripresa.

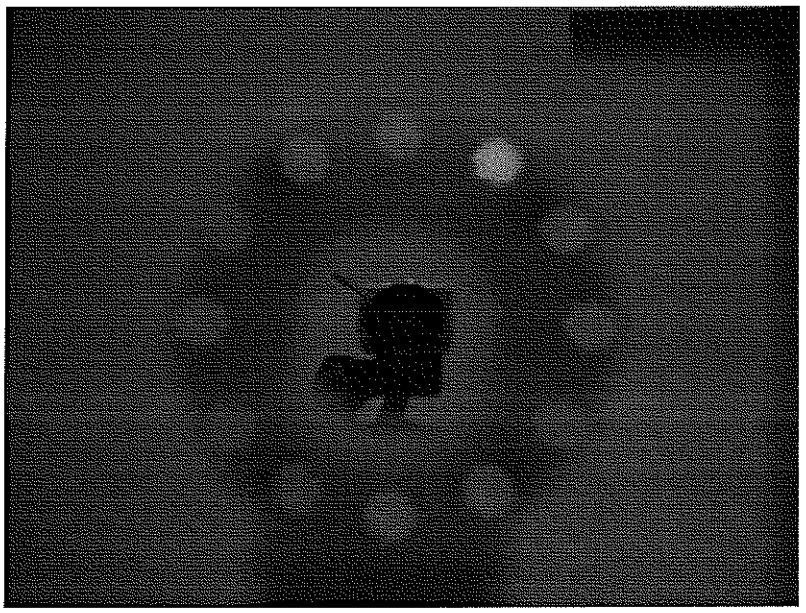


Figura 2. Immagine della telecamera riflessa dallo specchio.

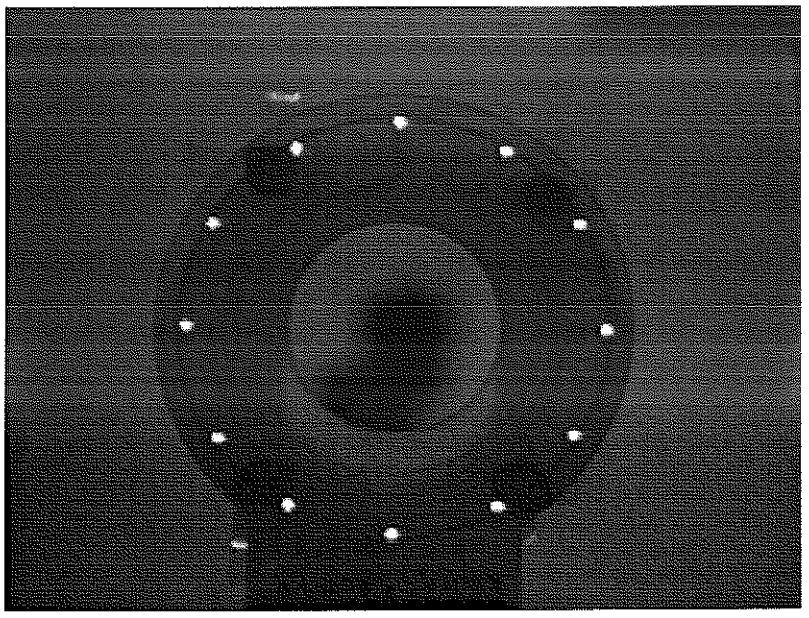


Figura 3. Immagine della mira usata per la taratura della telecamera.

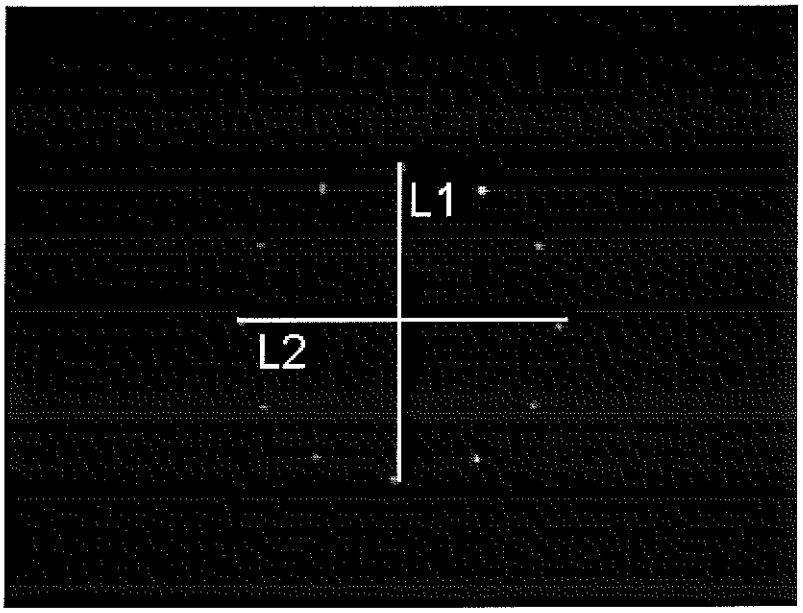


Figura 4. Misure per determinare il fattore di scala.

Per questo tipo di telecamera, il fattore di correzione necessario per uniformare le misure nelle direzioni x e y è dunque dato da:

$$Fatt \equiv Dy/Dx = Length1/Lenght2 = 0.95$$

Introducendo questo fattore, le distanze tra le sei coppie di LED sulla sorgente luminosa, ottenute col programma di misura, sono risultate sostanzialmente eguali. La tabella 2 riporta il valore medio m e la deviazione standard ds delle misure ottenute in 10 acquisizioni.

Lettura	m	ds
1	304.23	4.27
2	303.73	5.36
3	303.73	5.27
4	304.01	5.00
5	304.23	5.05
6	304.16	5.02
7	303.98	5.07
8	304.13	4.67
9	304.15	4.78
10	304.14	4.56

Tabella 2. Misure dei diametri ottenute con la telecamera Sony DCX-151P e la sorgente luminosa con 12 LED.

Il valore medio delle letture vale 304.05; la deviazione standard vale sd = 0.18 e l'errore standard risulta se = 0.06.

Le operazioni di taratura e calibrazione sono state successivamente eseguite sul dispositivo di acquisizione della stazione di lavoro, costituito da un microscopio chirurgico OPMI M2 e da una telecamera Panasonic GP-US502E; la tabella 3 riporta i valori del raggio di curvatura delle sfere utilizzate nella fase di calibrazione.

sfera	r (mm)
4	6.747
5	7.144
6	7.541
7	7.938
8	8.334
9	8.731

Tabella 3. Raggio delle sfere di calibrazione.

Nella fase di taratura si è ricavato il valore del parametro Fatt; si è ottenuto:

Fatt = 1

Nella fase di calibrazione, eseguita con lo zoom dell'obiettivo regolato al valore 2, si sono ottenuti i seguenti parametri:

Val1 = 0,032
Val2 = 0,051
r = 1

Utilizzando i suddetti valori, mediante il programma di misura è stato misurato il raggio di curvatura delle sfere di calibrazione; la precisione è risultata dell'1%.

Riferimenti

1) M. Chimenti, E. Bozzi, R. Bozzi, L. Azzarelli: "Un sistema per il rilevamento automatico intraoperatorio del raggio di curvatura corneale", IEI, B4-46, dic. 95.
2) L. Azzarelli, M. Chimenti, E. Bozzi, R. Bozzi, M. Nardi: "Una procedura di elaborazione di immagini per la misura del raggio di curvatura lineare", Atti della Fondazione Giorgio Ronchi, Anno LII, n. 3, mag-giu 1997.
3) L. Azzarelli, R. Bozzi, M. Chimenti: "Progetto preliminare di un sistema di rilevamento automatico in cheratometria", IEI, B4-49, dic. 93.