

Istituto di Antropologia
dell'Università di Messina
Direttore Inc.: Prof. V. *Capecchi*

Istituto Ortopedico
del Mezzogiorno d'Italia Messina
Direttore: Prof. F. *Scalabrino*

TAVOLE PER L'IMPIEGO DEL METODO RADIOGRAFICO NELLE RICERCHE MORFOMETRICHE SULLO SCHELETRO

di

V. CAPECCHI

A. B. LEVANTI

D. CAVALLARI

La sempre maggiore diffusione della radiologia per le indagini morfologiche nello scheletro, in unione alla crescente difficoltà del reperimento di materiale scheletrico, il cui costo è per di più divenuto proibitivo, ha fatto riesaminare l'opportunità di studiare la possibilità di utilizzarla anche nelle ricerche antropometriche.

Finora, tranne un tentativo del francese Lefrou, limitato alla sola determinazione dell'angolo facciale di Camper, e di un procedimento di P. Messeri per lo studio delle caratteristiche morfo-mecchaniche del bacino, il metodo radiografico non è stato impiegato da nessuno nelle ricerche antropologiche. Ciò perché le immagini che esso fornisce sono in varia guisa deformate per l'influenza di diverse cause, che sono dovute:

- 1) alla sovrapposizione delle parti;
- 2) allo spessore ed alla diversa densità;
- 3) alla proiezione.

Mentre le deformazioni dovute alla sovrapposizione ed allo spessore non interessano le ricerche antropologiche, al contrario quelle dovute alla proiezione sono veramente importanti, anzi tanto importanti, che è proprio per causa loro che la radiologia è rimasta pressochè inutilizzabile per l'antropologo.

Infatti, l'immagine che si ottiene nella pellicola radiografica è il risultato non solo della proiezione su di uno stesso piano di parti situate ad un diverso livello, ma è anche ingrandita, perché essendo la sorgente dei raggi X da considerare praticamente puntiforme, l'ombra dell'oggetto radiografato appare sulla pellicola tanto più deformata, quando più l'oggetto stesso è vicino alla sorgente

dei raggi, mentre la deformazione stessa, minima in prossimità del raggio centrale, aumenta mano mano che ci si allontana da questo verso i margini della immagine. Inoltre, siccome per quanto piccola, la sorgente dei raggi, o fuoco, ha una certa superficie, così i contorni appaiono sfumati per il fenomeno cosiddetto della penombra, la quale ha una larghezza di 1-2 millimetri, e rende le misure prese sui radiogrammi ancor più approssimative.

A quest'ultimo inconveniente si rimedia in parte con artifici vari, come l'uso di griglie, fisse od oscillanti (Potter). In questo modo i contorni vengono resi più netti e le zone di penombra, se non eliminate, almeno fortemente ridotte.

Il Lefrou, onde ovviare la deformazione delle immagini, eseguisce gli esami da lontano (teleradiografia). Ma questa tecnica richiede un fascio di raggi molto potente, perché l'intensità di essi diminuisce in proporzione inversa al quadrato della distanza; perciò i radiogrammi eseguiti con questa tecnica appaiono sempre deboli e spesso addirittura illeggibili, in quanto altro è attraversare con i raggi X le parti molli, come il torace, altro è attraversare le ossa del cranio. Per questo, e perché nonostante le precauzioni prese, pare che i risultati non fossero molto attendibili, il metodo non ha avuto molto seguito.

Quindi, il problema dell'impiego del metodo radiologico per le ricerche metriche nello scheletro, è ancora attuale.

Per la verità, esistono degli abachi, coi quali, conoscendo la distanza dell'oggetto radiografato dal fuoco e dal piano della pellicola, è possibile interpolare graficamente i valori delle dimensioni reali dalle misure radiografiche. Ma questi abachi, non sono utilizzabili ai fini antropologici, in quanto i dati sono troppo approssimati, con un margine di errore considerevolmente ampio.

E' stato così elaborato un procedimento mediante il quale si è reso possibile risalire, attraverso le misure radiografiche, alle misure reali dell'oggetto, col margine di errore ridotto al minimo compatibile con la radiologia.

Per questo è necessario anzitutto stabilire le caratteristiche dell'apparecchio col quale gli esami stessi vengono eseguiti: occorre cioè procedere alla taratura dell'apparecchio stesso.

Bisogna intanto sapere che il fuoco del tubo a raggi X, per le radiografie dello scheletro, viene disposto a circa un metro dal piano di appoggio della pellicola; diciamo circa perché in realtà questa distanza è variabile, sia pure entro limiti piuttosto ristretti, da un apparecchio all'altro. D'altra parte alle distanze focali solite, una variazione di un centimetro nella distanza fuoco-pellicola, porta ad una variazione di circa un millimetro nelle misure del radiogramma: quantità trascurabile ai fini medici ma non tale agli

effetti antropometrici, specie quando si debba dalle misure calcolare un indice.

Ciò naturalmente, non significa che con la radiologia si possa arrivare ad ottenere misure esatte, poiché il fenomeno della penombra e la cosiddetta diffrazione interferiscono sempre non consentendo mai una esatta misurazione; ma quando l'errore di misura è contenuto entro limiti abbastanza ristretti, è evidente che anche il metodo radiografico può fornire risultati attendibili, per quanto approssimati.

La taratura dell'apparecchio deve essere effettuata nel modo seguente:

Preso una spranghetta di metallo radio-opaco (ottone o ferro) la cui lunghezza sia esattamente conosciuta, ad esempio, di cm 10, e collocatala, mediante un apposito supporto, *all'altezza* precisa di cm 10 dal piano del tavolo, si eseguisce una radiografia, determinando bene la posizione dello stativo porta tubo, che viene posto esattamente alla graduazione 100 della relativa colonna. Con la stessa tecnica, si esegue una seconda radiografia, disponendo invece la spranghetta a cm 15 dal piano del tavolo.

Misurando quindi la distanza piano-pellicola, è facile trovare col teorema dei triangoli simili, tanto la distanza fuoco-oggetto, quanto quella fuoco-pellicola. Nella pratica, per ottenere dati il più possibile sicuri conviene fare una serie di misurazioni, prendendo poi come base la media aritmetica di esse.

Siano infatti (fig. 1 e 2) la lunghezza della immagine radiografica della spranghetta di 10 cm a cm 10 dal piano di appoggio, mm 118,4; e mm 125,4 a 15 cm dal piano stesso. Essendo mm 65 la distanza accuratamente misurata tra il piano di appoggio ed il piano della pellicola, e costituita dallo spessore del piano stesso, del dispositivo Potter ad esso sottostante e dalla metà dello spessore della scatola contenente la pellicola sensibile, avremo che le distanze oggetto-pellicola saranno rispettivamente per le due successive radiografie di mm $100 + 65 = 165$ e $150 + 65 = 215$.

Sussisterà, quindi per il teorema dei triangoli simili, la seguente proporzione:

$$x: 100 = (x + 165) : 118,4$$

in cui x è la distanza fuoco-piano di appoggio.

Da essa si ricava:

$$118,4 x = 100 x + 16500$$

da cui

$$x = \frac{16500}{18,4} = 896,7$$

Perciò:

mm 896,7 = distanza fuoco-oggetto campione

mm 165,0 = distanza oggetto campione-pellicola

mm 1061,7 = distanza fra il fuoco ed il piano della pellicola.

Naturalmente queste cifre sono approssimate, in quanto affette da una certa percentuale di errore dovuta alla relatività delle misurazioni sulla immagine radiografica; ma d'altra parte il fuoco del tubo a raggi X è inaccessibile, e la sua distanza dal piano della pellicola, è quindi dall'oggetto, può essere determinata solamente con procedimenti indiretti.

E' quindi ora opportuno procedere ad una seconda determinazione, prendendo come base la distanza oggetto-piano d'appoggio di 15 cm.

La proporzione relativa sarà perciò la seguente:

$$x: 100 = (x + 215): 125,4$$

da cui:

$$x = \frac{21500}{25,4} = 846,4$$

Perciò avremo:

mm 846,4 = distanza fuoco-oggetto campione

mm 215 = distanza campione-pellicola

mm 1061,4 = distanza fuoco-pellicola

con un errore di 3/10 di mm nei confronti della prima determinazione.

La media delle distanze così misurate può essere pertanto presa come base per le successive operazioni.

Per la determinazione della distanza fuoco-pellicola, e quindi fuoco-oggetto può essere impiegato anche un procedimento trigonometrico.

Si consideri la Figura 3 in cui:

2 h = lunghezza dell'oggetto-campione

2 b = lunghezza della radiografia dell'oggetto-campione

F = fuoco dell'apparecchio.

Nel caso dianzi riportato avremo perciò:

h = mm 50

b = mm 59,20

La differenza mm 59,20 — 50 = mm 9,20 è un cateto del triangolino di lati a'b'c', in cui pertanto:

$$a' = \text{mm } 165; \quad b' = \text{mm } 9,20$$

Sussisterà perciò la relazione:

$$b = a' \operatorname{tang.} \hat{F}$$

e cioè:

$$9,20 = 165 \operatorname{tang.} \hat{F}$$

Ed in logaritmi

$$0,96379 = 2,21748 + \log. \operatorname{tang.} \hat{F}$$

da cui:

$$\log. \operatorname{tang.} \hat{F} = \overline{2,74631}$$

Ma il triangolo a'b'c' è simile al triangolo abc, per cui essendo in quest'ultimo $b = \text{mm } 59,20$ avremo che, $a = 1061,7$ risultato assolutamente identico a quello precedente.

Con questo procedimento è possibile determinare anche la distanza piano d'appoggio-piano pellicola, quando la misurazione diretta non sia agevole, come può essere nel caso in cui il piano d'appoggio è avvallato al centro, o la cassetta porta-pellicola disposta sotto il dispositivo Potter, a causa dello stato di usura delle sue guide non si mantenga orizzontale allorché viene estratta da sotto il piano. In questo caso, disponendo con i dovuti accorgimenti la pellicola sensibile sul piano d'appoggio anziché nella apposita cassetta, si eseguono due radiogrammi dello stesso oggetto-campione ad *altezze* diverse; radiogrammi che si ripetono poi collocando la pellicola nell'apposita cassetta. La differenza nell'ingrandimento delle due immagini ci fornirà, evidentemente, la distanza piano d'appoggio - piano del tavolo troscopico. Si deve però tenere presente che l'immagine ottenuta direttamente, cioè senza interposizione del dispositivo antidiffusore Potter, risulta più sfumata, e pertanto meno netta e precisa.

Una volta tarato l'apparecchio radiologico, è possibile determinare, sempre mediante il teorema dei triangoli simili, l'ingrandimento dell'immagine radiografica con una approssimazione inferiore al millimetro. Ma all'atto pratico, è necessario impiantare e risolvere una proporzione per ogni determinazione; il che importa l'esecuzione di una moltiplicazione e di una divisione per ogni osservazione; con notevole perdita di tempo specialmente allorché si debba effettuare una serie di determinazioni, e probabilità di errori.

Perciò abbiamo compilato delle tavole, mediante le quali è possibile calcolare questo ingrandimento in maniera semplice e rapida, eseguendo delle addizioni e sottrazioni, ed al massimo una moltiplicazione.

La prima di queste tavole è fondata sulla relazione tra i cateti di un triangolo rettangolo e l'angolo acuto opposto, $b = a \operatorname{tang.} \gamma$ (3); ma non considerando l'angolo al vertice corrispondente al fuoco F, bensì un angolo ausiliario γ che è un angolo acuto di un triangolo rettangolo avente per la base la misura dell'oggetto sul radiogramma e per l'altezza la distanza fuoco-pellicola.

Consideriamo infatti la fig. 4. Nel triangolo rettangolo abc sussiste la relazione:

$$\frac{1}{2} c = a \operatorname{tang.} \frac{1}{2} \gamma$$

in cui $\frac{1}{2} e$ è la metà della misura dell'oggetto radiografato e, naturalmente anche la metà della misura reale ingrandita dell'oggetto

Perciò usando il suddetto triangolo, occorrerà poi moltiplicare il risultato per 2. Ora, siccome tangente 2γ non è $= 2 \operatorname{tang.} \gamma$ occorrerà, per compiere la determinazione direttamente, ricorrere al triangolo ausiliario a'b'c' in cui $a' = e \operatorname{tang.} \gamma$.

Il triangolo a''b''c'', la cui base e'' corrisponde alla misura dello oggetto radiografato, è simile al primo perché la a'' è parallela alla e', la b'' alla b' e la e'' alla e; quindi $e'' = a'' \operatorname{tang.} \gamma$.

L'uso della tavola è semplicissimo. Questa fornisce infatti i valori di tang. γ per classi decrescenti di 5 in 5 mm e per grandezza di e di 10 in 10 mm. Si cerca sulla tavola, in corrispondenza della distanza fuoco-pellicola, la colonna corrispondente, se c'è, o immediatamente inferiore alla misura trovata sul radiogramma. Se essa è data esattamente dalla tavola, cioè se corrisponde a 350, 340 ecc. si cerca, nella riga corrispondente alla distanza piano-pellicola, il valore di tang. γ , che si moltiplica per la distanza corrispondente all'oggetto. Così per esempio sia la misura radiografica di mm 210 e la distanza fuoco-pellicola mm 1065, la distanza fuoco-oggetto mm 920. Nella colonna 210 in corrispondenza della riga 1065 si trova tang. $\gamma = 0,19718$. Perciò avremo $920 \times 0,19718 = 181,4056$, che è la larghezza in millimetri dell'oggetto situato a 920 mm dal fuoco e la cui immagine radiografica a 1065 mm dal fuoco è di mm 210.

Se invece la misura dell'oggetto non è compresa fra quelle tabulari, occorre procedere alla interpolazione. I valori di tang. γ contenuti nelle ultime 9 colonne, da 90 a 10, divisi per 10, sono le parti da aggiungere al valore tabulare di tang. γ immediatamente inferiore.

Analogo procedimento si può seguire per le distanze; si deve tuttavia notare che un'approssimazione di mezzo centimetro relativamente alla distanza totale porta ad un errore di circa mezzo millimetro per la misura reale; errore generalmente trascurabile.

Quindi è sufficiente effettuare l'interpolazione fra le sole colonne prendendo i valori tabulari della distanza più vicini a quello dato.

Esempio: sia la *larghezza* dell'oggetto mm 206, la distanza totale mm 1065 e la distanza fuoco-oggetto mm 921. Avremo, in colonna 200, riga 1065, il valore tabulare 0,18779. Parte proporzionale da aggiungere, $\frac{6}{10}$ della differenza, che troviamo in colonna 60 riga 1065 eguale a $0,05633 : 10 = 0,00563$; il che fa tang. \sphericalangle 0,19342.

Da cui $921 \times 0,19342 = 178,13982$.

Questo procedimento, volendo, può fornire valori praticamente esatti; quando ci si accontenti di risultati un po' più approssimati, si può applicare un altro metodo alquanto più sbrigativo e che fornisce anch'esso approssimazioni a meno di un millimetro.

Per questo è stata costruita una seconda tavola la quale, date le larghezze base dell'oggetto radiografato decrescenti di 10 in 10 mm, da 250 a 10, e dalla distanza totale fissa di mm 1100, più che sufficienti per qualsiasi oggetto e per qualsiasi apparecchio, fornisce direttamente la lunghezza dell'immagine quale sarebbe a distanze focali decrescenti di 5 in 5 mm, fino alla distanza di mm 700. Siccome nelle righe le differenze sono fisse, una tavola ausiliaria posta a lato, porta i valori delle parti da aggiungere ai valori tabulari per le grandezze intermedie.

L'uso della tavola è semplicissimo. In corrispondenza della distanza fuoco-pellicola si cerca il numero che più si avvicina per difetto a quello che esprime la misura radiografica. Quindi, si fa la differenza fra la misura anzidetta e quella tabulare, e nella tavola ausiliaria si cerca a quante parti proporzionali questa corrisponde. Quindi nella riga alla distanza fuoco-oggetto si cerca, nella stessa colonna la cifra corrispondente. Quindi, nella tavola ausiliaria si calcola, sulla stessa riga il valore della parte proporzionale da aggiungere al valore tabulare trovato; e si ottiene così la misura approssimata dall'oggetto alla distanza cercata.

Siano ancora mm 1065 la distanza fuoco-pellicola, e mm 921 la distanza fuoco-oggetto la cui misura radiografica è mm 206. Sulla riga 1065 si cerca il numero che, per difetto più si avvicina a 206 e si trova 203,31.

La differenza è di 2,69; nella tavola ausiliaria delle parti proporzionali si trova, alla riga 1065, 2,90 che corrisponde a 3 parti. Quindi, sempre sulla colonna 15, dove si trova il 203,31, in corrispondenza della distanza 920 si trova 175,63. Aggiungendovi 2,51 che si trova sulla colonna 3 delle parti proporzionali alla distanza

920, si ottiene mm 178,14, misura non molto diversa da quella ottenuta dalla tavola prima.

Volendo si può calcolare la approssimazione delle parti proporzionali mediante la proporzione $\frac{2,51 \times 2,69}{2,90} = 2,32$; il valore cer-

cato diviene così 177,95; aggiungendovi $\frac{1}{5}$ della differenza fra 175,63 (= 920) e 176,50 (= 925), e cioè 0,17, si ottiene 178,12.

Le differenze come si è detto sono così piccole, nei confronti della distanza, che possono essere trascurate.

Quando si tratti di radiografie di oggetti rotondi, o ad essi assimilabili, come il cranio, i valori dati dalla tavola non corrispondono a quelli reali ma debbono essere corretti ed ecco il perché.

Quando una sorgente di luce illumina una sfera, la superficie illuminata è tanto più piccola, e quindi il suo limite tanto più distante dal cerchio massimo della sfera stessa, quanto più vicina è la sorgente di luce.

Con i raggi X succede la stessa cosa, e si dimostra geometricamente che l'immagine, rispetto a quella che sarebbe se i raggi potessero essere tangenti al cerchio massimo, è ingrandita di una quantità pari alla secante trigonometrica dell'angolo che la perpendicolare al punto di tangenza fa col piano equatoriale stesso, in corrispondenza del centro .moltiplicata per il raggio della sfera, cioè per la metà del diametro dell'oggetto stesso.

Quindi la differenza in più, sarà data dalla larghezza l X (sec. 9—D-

Perciò abbiamo costruito una terza tavola con i valori di l X (sec. cp—1) per l variabile da 250 a 110 mm e per distanza da 1100 a 700 mm. Per l minore di 110 mm la correzione diventa inferiore al mezzo millimetro e pertanto l'eventuale errore irrilevante.

L'uso ne è semplicissimo. Nella riga corrispondente alla distanza voluta si cerca nella colonna più vicina al valore della lunghezza, la misura della correzione, e si sottrae questa dal valore ottenuto dalla tavola. Volendo ottenere correzioni più precise, si possono usare le colonne ausiliarie situate fra una colonna e la altra ,e che portano le differenze: di esse si prenderanno tanti decimi quante sono le unità in più o in meno fra la misura dell'oggetto e le cifre delle colonne.

Esempio: nel caso precedente alla distanza 920 ed alla lunghezza 178,14, corrisponde la correzione (colonna 180) di mrn 1,97.

Col che la larghezza reale viene ad essere mm 176,17.

Tavole per l'impiego del metodo radiografico ecc.

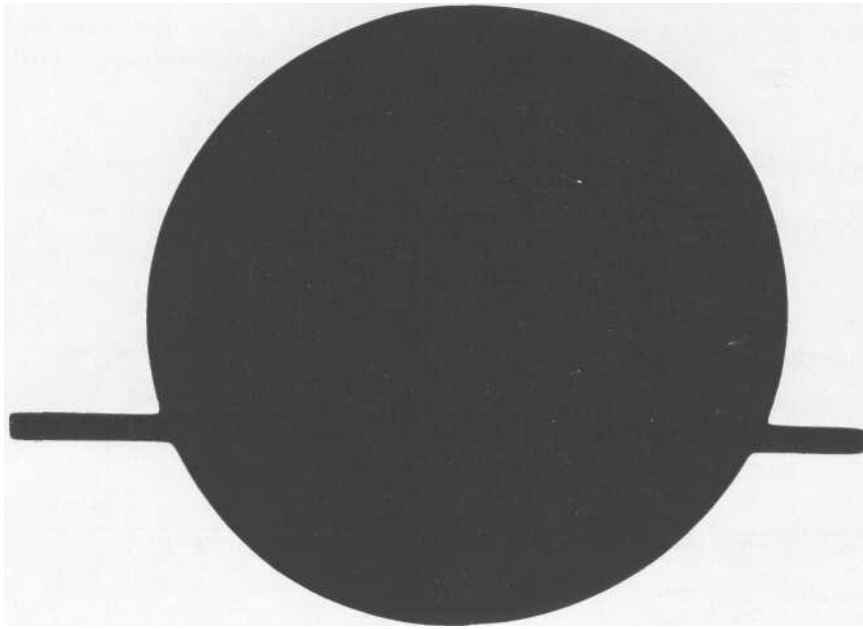


Fig. 1-A: Radiografie della misura campione a cm 10 dal piano del tavolo

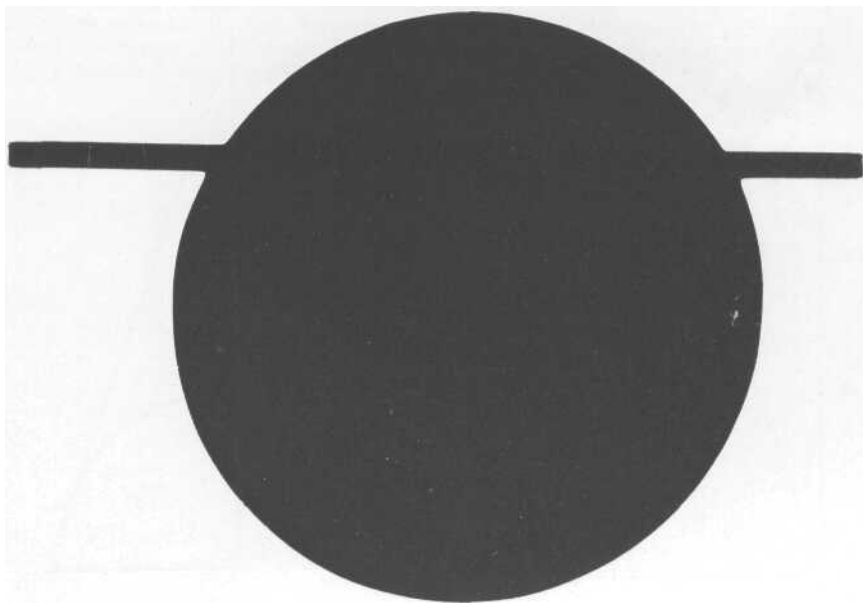
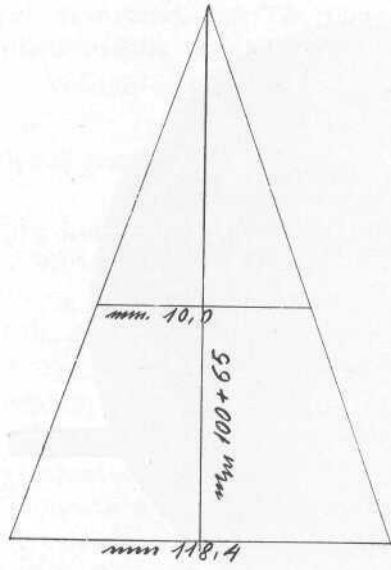
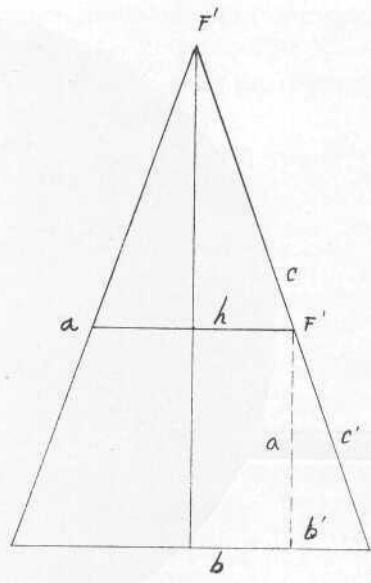


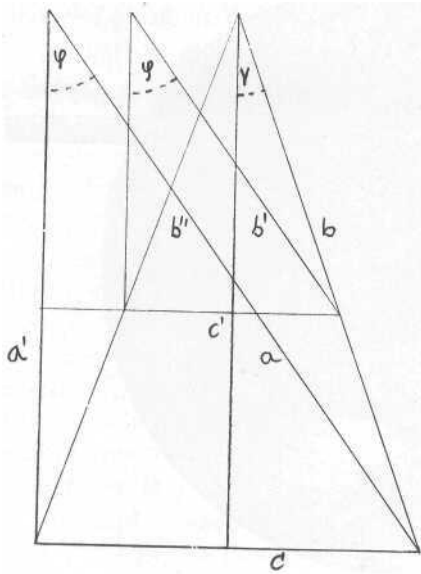
fig. 1-B: Lo stesso a 15 centimetri



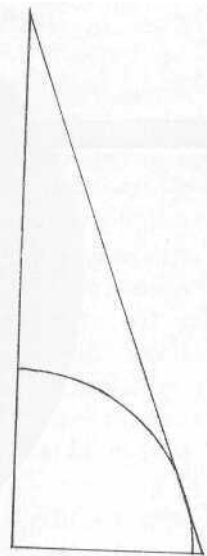
2



3



4



5

Volendo essere più precisi, essendo 0,31 la differenza, dovremmo togliere da 176,17 ancora 0,06, ottenendo così 176,11: differenza assolutamente trascurabile.

Riassunto

Gli Autori spiegano le ragioni per cui è attualmente necessario utilizzare il metodo radiologico per scopi morfometrici.

Dopo accurati studi hanno costruito delle apposite tavole di riduzione che rendono accessibile il metodo radiografico ai fini osteometrici e ne spiegano il facile modo di impiego.

Résumé

Les Auteurs montrent, en expliquant les raisons, qu'il est nécessaire d'utiliser la méthode radiologique dans des buts morphométriques.

Après des études soignées ils ont fait des tables de réduction convenables qui rendent accessible la méthode radiographique dans des buts ostéométriques et en expliquent la facilité de laquelle on l'emploie.

Summary

The AA explain the reasons why is at present necessary to utilize the radiologic method for morphometrical purposes.

After accurate studies they have prepared some expressly made reduction tables which make accessible the radiographic method to the osteometrical aims and they explain their easy application.

Zusammenfassung

Die AA erklären warum heute nötig ist, die radiologische Methode zu morphometrischen Zwecken zu gebrauchen.

Nach genauen Studien, haben sie besondere Ermässigungstafel fertig gemacht, die die radiographische Methode zugänglich machen zum osteometrischen Zweck und erklären ihre leichte Gebrauchsanweisung.

Bibliografia

- DELATTRE: *L'Euryon*. L'Antropologie, Fasc. I 1965.
MARTIN: *Lehrbuch d'Antropologie*, Fischer, Jena, 1958.
OLIVIER: *Pratique Anthropologique*, Masson, Paris, 1962.