

**Traduzione ed analisi comparata con fonti
antiche greche e romane**

Sezione V (Capp. 18–19)

estratto da:

L'ESTRAZIONE DELLE ACQUE NASCOSTE

TRATTATO TECNICO-SCIENTIFICO DI KARAJĪ
Matematico-ingegnere persiano vissuto nel mille

Giuseppina Ferriello



Published by:

Kim Williams Books

Corso Regina Margherita, 72
10153 Turin (Torino) ITALY
<http://www.kimwilliamsbooks.com>

Cover illustration: Domenico Guiola, *Qanāt*, acrilici su tela, 2006

Cover design by:

Contesta
Fucecchio (Florence) ITALY
contesta@contesta.it

All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any other information storage and retrieval system, without prior permission in writing from the publisher.

ISBN-10: 88-88479-16-3
ISBN-13: 978-8888479163

Copyright © 2006, 2017 Giuseppina Ferriello e Kim Williams Books

Premessa

La trascrizione

La lingua persiana e la araba hanno origini diverse pur utilizzando molti caratteri alfabetici simili e malgrado la presenza di numerosi termini traslati da una lingua all'altra: la persiana con le radici indo-arie, la araba con le origini semitiche. L'adozione di caratteri alfabetici detti arabi" in Irān è successiva all'avvento della dominazione islamica; in precedenza, infatti, si adoperava la scrittura *pahlavi*. Diverso è pure il numero delle lettere: le arabe corrispondono al calendario lunare (28), le persiane al solare (32).

ا	ā â	ض	ẓ
ب	b	ط	ṭ
پ*	p	ظ	ẓ
ت	t	ع**	'
ث	th/s	غ	ɣ/ġ
ج	j/ġ	ف	f
چ*	c	ق	q
ح	ḥ	ک	k
خ	x/kh/ḫ	گ*	g
د	d	ل	l
ذ	z/dh	م	m
ر	r	ن	n
ژ*	z	و	u, ū v, ow, o
ز	z	ه	h
س	ṣ	ي	i, ī, y, ey, iy, e
ش	š/sh	ة***	t
ص	ṣ		

*Tale lettura viene letta dh in arabo.

**Nella lettura la 'ain determina una interruzione brusca di suono.

***La lettera ta marbuta – cioè ta legata – indica il genere femminile e non viene conteggiata fra i simboli alfabetici.

Avvertenze:

Le immagini della strumentazione di cantiere

Le immagini della strumentazione sono tratte dalla versione persiana di Ḥ. Xadivjam; quelle applicative da Ġ. Kuros (*Āb va fann-e ābyārī dar Irān-e bāstān* cit.). Le figure con le trascrizioni alfabetiche latine sono rielaborazioni.

La traduzione

La suddivisione degli argomenti è quella predisposta da Karajī. La cifra araba in carattere italico fra parentesi quadre segnala i capitoli corrispondenti alla ripartizione indicata nel paragrafo *L'Estrazione delle acque nascoste il contenuto e la sua organizzazione* e nelle relative note.

La terminologia, la suddivisione e la relativa indicazione di capitoli e di paragrafi rispecchiano fedelmente il testo persiano, anche laddove la sostituzione di qualche lemma avrebbe consentito di precisare meglio il significato. L'adozione della traduzione filologica lascia invariate alcune contraddizioni più o meno palesi.

Per agevolare il confronto con possibili fonti greco-romane, la versione è stata ripartita in sezioni, ciascuna delle quali reca alla fine un breve commento ed alcuni riferimenti significativi.



L'Estrazione delle acque nascoste

Sezione V (Cap. 18 – 19)

[p. 64]

[Capitolo N° 18]

CAPITOLO

A PROPOSITO DELLE LIVELLE CON LE QUALI SI EFFETTUA IL RILIEVO TOPOGRAFICO

Nei suoli nei quali si vanno a realizzare acquedotti, per sapere se l'allineamento di un sito rispetto ad un altro, posto ad una certa distanza, è depresso oppure elevato, si esegue il livellamento; tale operazione si effettua, appunto, con la livella.

Un primo elementare tipo di livella è costituito da un tubo di vetro, di legno di essenza dura, oppure di canna. Questo tubo deve essere perfettamente dritto; la sua sezione – da una estremità all'altra – deve avere sempre la stessa dimensione. I livelli interno ed esterno devono essere fra loro paralleli e lo spessore – in ogni parte del tubo – deve essere sempre lo stesso. La lunghezza del tubo deve essere di un palmo e mezzo, o di poco inferiore. L'ampiezza dell'apertura di questo tubo deve anch'essa avere un'unica dimensione che sia quasi quanto il dito anulare. Ad entrambe le estremità di siffatto tubo vanno praticati due fori della stessa dimensione; anche al suo centro c'è un foro grande quanto un anulare. Occorre che questi tre fori siano allineati e si trovino alla stessa distanza. Quindi, si scelgono due spaghi, ciascuno della lunghezza di cinque cubiti – misura dell'avambraccio – o poco meno o poco più. Queste due cordicelle [p. 65] devono essere di seta o di fibra di lino e apparecchiate ritorte, spalmate di cera in modo che perdano l'elasticità; ognuna delle due cordicelle, poi, va passata in uno dei fori che sono stati eseguiti lungo il tubo.

La figura della livella è la seguente (fig.1).

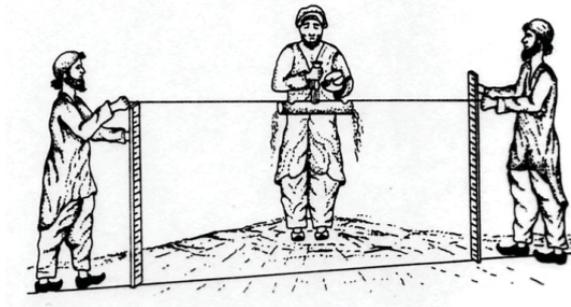


Fig. 1a. Da: Ğ. KUROS, *Āb va fann-e ābyārī dar Irān-e bāstān*, Tehrān, 1350 H./1972-3



Fig. 1b.
Da: Ğ. Xadivjam

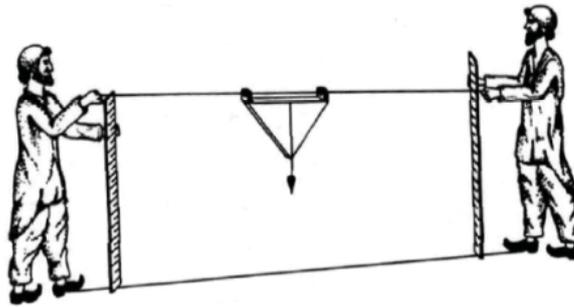


Fig. 2a. Da: Ğ. KUROS, *Āb va fann-e ābyārī dar Irān-e bāstān*, Tehrān, 1350 H./1972-3

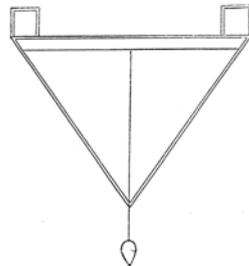


Fig. 2b.
Da: Ğ. Xadivjam

Una variante è costituita da una lastra a forma di triangolo realizzata in zinco oppure in legno di essenza dura e scelto privo di nodi. Questa lastra deve essere leggera ma rimanere in posizione verticale. Due tronchi della lastra sono uguali; ai lati della base vi sono installati due ganci tali che, quando si traccia una linea passante dal centro di un anello all'altro, questa linea sia parallela alla base.

La linea della base – per mezzo di un asta perpendicolare – viene suddivisa in due parti uguali; questa linea perpendicolare è la bisettrice passante per l'angolo racchiuso fra i due tronchi laterali della lastra. È ovvio che essa suddivide la linea della base in due parti uguali. Ora, nel punto di intersezione fra il perpendicolo bisecante e la base nella parte inferiore, viene praticato un foro. Da quel punto pende, perpendicolarmente, una sottile corda di seta la quale supera di due dita o più la suddetta bisettrice. Il piombino deve pesare tre *dihram*¹⁹⁹ ed essere di ottone, oppure di piombo. Dunque, si fa passare una corda lunga trenta cubiti e [passando essa tra i ganci] si colloca la lastra al suo centro in modo che da ciascuno dei ganci laterali passi mezza corda come è indicato in figura (fig.2).

Un altro tipo di livella è a forma del braccio della bilancia. Per tale operazione è possibile scegliere un braccio di bilancia in ferro che sia leggero, ma non tanto che possa inflettersi in conseguenza della esilità del materiale. La lunghezza del braccio della bilancia è di un palmo e mezzo [p. 67], anche la lunghezza della sua linguetta ha la stessa dimensione, o è di poco inferiore. La staffa del braccio di bilancia deve essere stretta e sottile. In corrispondenza del punto più basso del gioco perpendicolare, tramite una sottile cordicella, è sospeso un peso di circa cinque *dihram*; la relativa zavorra deve essere piatta e realizzata a forma di freccia.

Alle due estremità del braccio di bilancia vengono installati due anelli in ciascuno dei quali si lega un filo; oppure, a ciascuna delle due estremità del braccio di bilancia vengono praticati due fori per farvi passare il filo.

Il congegno è indicato nella immagine seguente (fig.3).

¹⁹⁹ Unità di misura di peso corrispondente a circa 48 grani di misura media suddivisibile in sei porzioni, ciascuna delle quali pesa otto grani.

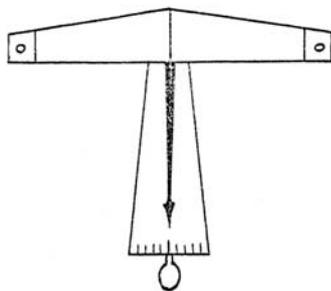


Fig. 3.
Da: H. Xadivjam²⁰⁰



Foto n.o 1.

SUL RILIEVO ESEGUITO CON QUESTE LIVELLE

Dunque, si scelgono due pezzi di legno quadrangolari, dritti ed a sezione parallelepipedica che siano alti ciascuno sei palmi o poco meno [p. 68]. Questi legni si tengono in posizione verticale.²⁰¹ Quindi, ogni asta viene consegnata ad una persona; ad uno dei due uomini si ordina di collocare la palina nel posto da cui si inizia a prendere le misure, mentre l'altro si piazza di fronte alla asta e in modo che siano allineate la livella ed ambedue le paline. Successivamente si ordina di tendere la corda le cui estremità sono state messe in corrispondenza di ambedue le aste, in modo che queste si trovino sulla linea parallela

²⁰⁰ Nel testo originario questa immagine è capovolta.

²⁰¹ Questi legni oggi vengono detti paline, regoli.

all'orizzonte. Per questa operazione, alla sommità di ciascuna asta, si sospende un sottile filo a piombo e, perciò, su ogni asta si installa un sottile anello al quale legare la cordicella del piombo.

Se si esegue il rilievo utilizzando la livella a tubo, occorre portare con sé un recipiente colmo d'acqua ed anche dell'ovatta da inzuppare, successivamente, sul posto per poi comprimerla versandone l'acqua nel foro centrale del tubo. Se l'acqua fuoriesce da ambedue le estremità del tubo nella medesima quantità, si ha la prova che le due estremità della livella ed anche le paline che sono state installate colà sono situate alla stessa altezza. Se, invece, l'acqua fuoriesce da un solo foro, ciò dimostra che l'asta installata davanti alla parte di tubo da cui fuoriesce l'acqua è situata ad un livello inferiore rispetto all'altra; [p. 69] dipoi, si ordina a chi mantiene l'altra palina di abbassare gradatamente la cordicella dalla sommità della palina e di stillare, senza interruzione, l'acqua all'interno del tubo fino a che l'acqua fuoriesce nella stessa quantità da ambedue i fori.

Quando, per effetto di tale azione, la corda è parallela alla linea d'orizzonte, si individua – rispetto alla rimanente corda – la quantità di fune che penzola; quindi si comanda a chi regge la prima palina di rimanere al proprio posto ed a colui il quale regge la seconda asta di passare oltre e di effettuare la misurazione nel verso in cui si è deciso di eseguire il computo, poi di avanzare della dimensione pari alla lunghezza della corda, mentre, chi mantiene la seconda palina deve rimanere al proprio posto. Poi, nuovamente, così come abbiamo detto, si versa l'acqua entro il foro centrale del tubo. Se l'altezza di questi due estremi è la stessa, l'operazione non si ripete e si ordina alla persona che regge la seconda palina di passare oltre il proprio compagno, sempre nella stessa direzione in cui si sta effettuando il livellamento. Se, invece, il sito è più alto dell'altro, lo si annota e si ripete l'operazione fino a che si persegue lo scopo. Se si inizia il computo dal sito [a livello] più basso, si misura l'altezza della palina che è in avanti e le si sottrae l'altezza della palina che si trova più indietro. Questa differenza di altezza del sito più elevato rispetto a quello situato più in basso – cioè l'altezza del sito misurato – viene confrontata con essa, in rapporto al sito da cui si è intrapresa la misurazione, e indica che questo è posto sì nella stessa direzione, ma il livello non è pari al livello del suolo [della prima postazione] e denota che il sito è sopraelevato, oppure depresso. Se il calcolo inizia dal sito sopraelevato, c'è calo di altezza, contrariamente a quanto abbiamo detto. Il livellamento con la lastra triangolare si esegue alla stessa maniera, tranne per il fatto che è possibile effettuare il livellamento in una qualsiasi direzione grazie al filo a piombo sospeso al centro. Infatti, allorquando il piombino si discosta dalla verticale e pende da un lato, vuol dire che questo lato si trova ad una quota inferiore. Conseguentemente, si ordina chi è dall'altro verso di tenere in mano la corda in modo che questa scenda gradualmente fino a che il piombino combaci con la verticale. Allora si è in grado di misurare

l'altezza. La restante parte dell'operazione si effettua con la stessa modalità che già descritta.

[p. 70] Il livellamento col braccio di bilancia si realizza in questa stessa maniera servendosi, però, dell'inclinazione della staffa verso uno dei due sensi noti. Infatti, la linguetta della staffa di tale livella è sospesa al di sotto del braccio di bilancia. Perciò questa staffa della bilancia, per mezzo della sua inclinazione, indica proprio quel luogo che è situato [ad una quota] più bassa. Quindi, si ordina alla persona che staziona nel punto più alto di abbassare gradualmente la corda fino a che la linguetta si posizioni al centro della staffa e non si discosti dal centro della staffa, né più, né meno. A questo punto è possibile effettuare la misurazione dell'altezza e tale operazione si esegue con le modalità descritte.

Una volta, ho visto un tubo di vetro – cavo – che era completamente chiuso ai lati ed aveva un unico foro centrale. Alle due estremità portava delle anse; la linea passante per il centro di una delle anse e per il centro del foro dell'altra ansa era parallela al livello interno ed a quello esterno del tubo. In lunghezza siffatto tubo era suddiviso in due parti uguali dalla linea che passava dalle sue estremità ed era parallela alla linea interna passante per il centro dell'ansa. Il livello che passava attraverso questa linea suddivideva in due metà uguali il volume del tubo ed era parallela alla linea passante per i centri delle due anse. Se si vuole effettuare il livellamento tramite questo tubo, occorre versarvi dentro una certa quantità d'acqua in modo che essa raggiunga il limite contrassegnato per tutta la lunghezza del tubo; quindi, bisogna situare il tubo al centro di una corda lunga trenta cubiti e ai cui capi siano state posizionate le due paline delle quali abbiamo già parlato. Se si vede che il livello dell'acqua, all'interno della cavità, si trova allo stesso livello della linea tracciata lungo il tubo, la quota delle due estremità è la stessa. Se, invece, l'acqua si raccoglie da un solo lato del tubo, il lato dove l'acqua è più abbondante è più depresso. Perciò si ordina all'uomo che staziona dall'altra parte **[p. 71]** di abbassare a poco a poco la corda fino a che l'acqua si stabilizzi sopra la linea di cui si è detto; allora è possibile effettuare la misurazione dell'altezza. La restante fase operativa è simile a quella descritta innanzi.

Se ognuna delle due paline viene suddivisa in sessanta parti, ed ogni parte – finché è possibile – è suddivisa a sua volta in altre parti, la misurazione dell'altezza viene determinata con maggiore precisione. Infatti, quando la corda si inclina verso il punto [di stazione] più basso, è [direttamente] nota l'aliquota delle eccedenze, oppure dei suoi scarti.

ALCUNE LIVELLE INVENTATE DA ME

Dopo di ciò dico: se si intende eseguire un rilievo senza dovere usare la corda, bensì determinare l'altezza sulla livella a lastra, bisogna procurarsi una lastra leggera e quadrangolare – che sia di legno oppure di ottone – e che abbia due anse così come abbiamo detto. Vicino alle anse si tracci una linea retta; al di sotto di siffatta linea – al centro – si crei un foro. Dal centro di questo orificio si metta un filo a piombo che raggiunga il lato opposto a questa linea.

Quindi, si tracci, sull'altro lato della placca, una linea retta che formi un angolo retto con quella perpendicolare. Questa linea è contrapposta alla retta che è stata tracciata sulla parte della lastra vicino alle anse. Poi, si sospenda il filo a piombo al suddetto foro tramite una fune sottile. L'immagine relativa è la seguente (fig.4).

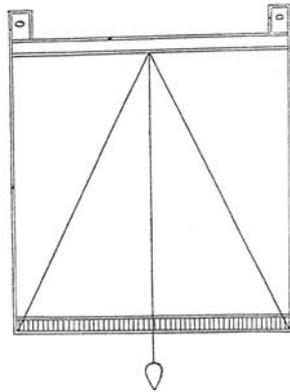


Fig. 4.
Da: H. Xadivjam

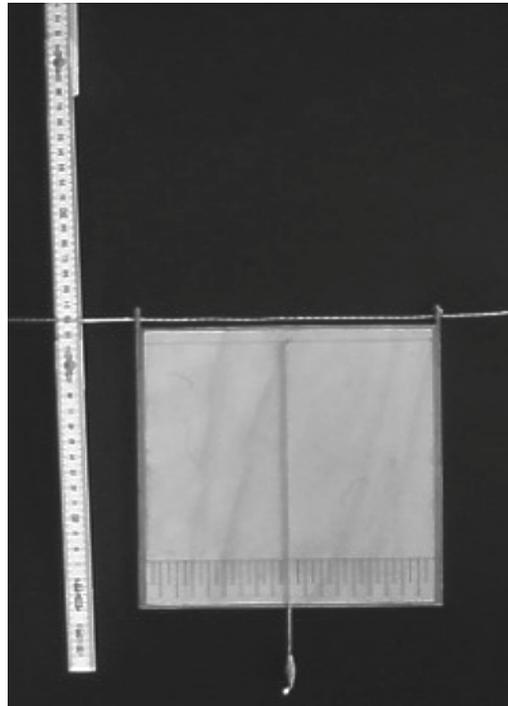


Foto n.o 2

Il quadrilatero che corrisponde a metà della lastra deve essere simile a quell'altro quadrilatero formato da una delle due paline e dalla corda che la circonda [p. 72]. Tuttavia, per la misurazione, è preferibile che il rapporto fra la metà della linea più lunga e la perpendicolare sia maggiore del rapporto intercorrente fra la misura della corda e la palina e [invece della fune] è meglio che si scelga una catena di rame o di ferro – secondo la modalità che ho esposto [p. 73] – in modo che, al momento della misurazione e del tiro, essa non si

plasticizzi e la sua lunghezza non aumenti, [mentre] la lunghezza della catena resta invariata allorquando si tira di nuovo.

Il modo di costruire la catena è il seguente: si ricavi del rame ritorto in modo uniforme; dopo che si è ottenuto uno spessore identico ed uniforme, lo si suddivida di spanna in spanna, oppure si ricavino dei pezzi di poco più grandi. Si curvino le estremità di ogni pezzo in modo che si formino dei piccoli anelli. Questi elementi si colleghino uno all'altro; se è possibile, si saldi il punto di contatto fra le due estremità di ogni anello. Infatti, questa operazione è possibile per colui il quale costruisce gli anelli.

La lunghezza di questa catena deve essere di trenta cubiti; la superficie di ogni palina deve essere suddivisa in sessanta parti. Quindi, si scelgono due punti che siano a livello ed anche contrapposti, tali che fra di loro non vi sia alcuna differenza di altezza. L'intervallo fra questi due punti deve avere la stessa dimensione dell'intervallo della catena. Il sito in cui si colloca una delle due paline deve essere adeguatamente spianato ed orizzontale poiché, abbassando l'estremità della catena, bisogna essere in grado di collocare [ben] salda al proprio posto una delle due paline ed avvicinarsi all'altra. Quindi, si posiziona la lastra al centro di questa catena e si tende la catena fra le due paline fino a che il filo a piombo sospeso alla lastra si mette verticale al centro della stessa. Allora, dalla sommità di una delle due paline si abbassa la catena di una misura pari ad una delle suddivisioni segnate sulla palina. A questo punto, [p. 74] il filo a piombo si inclina verso uno dei due sensi della placca e si contrassegna il punto in cui si incrociano la corda del filo a piombo e la linea inferiore della lastra. Come abbiamo detto [prima], si abbassa gradualmente la catena di una sezione [per volta] e si contraddistinguono tutti i successivi punti di intersezione fra la corda del filo a piombo e la metà della linea inferiore della lastra. Si suddivide in analoghe porzioni la metà di retta situata nella zona inferiore. Se, finché è possibile, si suddivide in frazioni ancora più piccole ognuna delle porzioni della palina, l'operazione [di rilievo] sarà ancora più esatta dopo il frazionamento e dopo che si sarà completato di mirare metà della citata linea. Si ripete l'operazione per suddividere l'altra metà nel modo illustrato per la prima metà. Quando si è ultimato il frazionamento, si può cominciare ad eseguire il rilievo. Si mette [allora] in tiro la fune tra le due paline, nel sito al cui centro è stata posizionata la livella, e si traguarda il filo a piombo. Se il filo a piombo devia dal prolungamento verticale, si valuta l'aliquota della frazione di cui si è spostato e la si appunta. Questa porzione consiste proprio in uno degli intervalli della putrella. Chi svolge questa operazione deve essere molto ben preciso nel ripartire la suddetta retta. Occorre, inoltre, ricordare che gli intervalli sulla palina devono essere identici l'uno all'altro; mentre le porzioni che sono contrassegnate sulla lastra non sono uguali fra loro. Grazie all'esistenza di

questa differenza, ogni pezzo di quelli citati, è una frazione di quelli della palina.

Il motivo per cui le suddivisioni della retta della lastra non sono identiche fra di loro – come quelle contrassegnate sulla palina – è dovuto al fatto che, allorché si fa scendere la fune dalla sommità della palina alla base, [p. 75] il movimento avviene secondo un arco e non secondo una retta, poiché, non appena si abbassa la fune per prendere una misura, bisogna spostare la palina dal proprio posto ed affiancarla di poco all'altra palina. A conferma di ciò [si dimostra che]:

Disegniamo un quadrilatero rettangolare $ABJD$; il segmento AB rappresenta la fune tesa fra le due paline; il segmento AJ una delle due paline ed il segmento BD l'altra palina. Quindi, suddividiamo in parti uguali – per esempio sei – la retta AJ ; dal centro B , con raggio AB , tracciamo un arco dentro il rettangolo $ABJD$; poi, dal punto F tracciamo una perpendicolare alla retta AB , che supponiamo sia la stessa fune. Tale perpendicolare è espressa da FH . Le suddivisioni del segmento AJ sono le seguenti: $A\check{S}$, $\check{S}Q$, QR , $R\check{S}$, $\check{S}T$, TJ . Dai punti \check{S} , R , \check{S} , T sul segmento HF caliamo le perpendicolari $\check{S}\check{H}$, QK , RM , $\check{S}N$, T' , JF . Poiché il segmento HF è parallelo al segmento AJ , le porzioni sestuple del segmento HF , cioè $H\check{H}$, $\check{H}K$, KM , MN , N' , $'F$ saranno pari alle suddivisioni del segmento AJ . Quindi, dal punto D , situato al centro del segmento BF e rappresentante la fune nel momento in cui la si porta nel punto più basso della palina, tracciamo il semicerchio $\check{T}HS$ ²⁰² di raggio arbitrario. Dal punto H ²⁰³ caliamo la perpendicolare sul segmento BF e da quest'arco $H\check{T}$ separiamo un arco simile all'arco AF e lo chiamiamo $H\check{H}$ [p. 76]; poi disegniamo il segmento $D\check{H}$ ²⁰⁴ parallelo al segmento HF in modo che si colleghi al segmento AB . Non vi è dubbio che tale segmento è perpendicolare al segmento AB . Infatti, il segmento $D\check{H}$ in questa ipotesi rappresenta proprio lo spago del filo a piombo. A conferma della ipotesi affermiamo che l'arco $H\check{H}$ e l'arco AF sono simili; l'angolo $D\check{H}L$ è uguale all'angolo ABF ; l'angolo $\check{T}D\check{H}$ è uguale all'angolo $'DB$. La somma dei due angoli $\check{T}D\check{H}$ e $\check{H}D\check{H}$ è pari ad un angolo retto e questi due angoli sono uguali [rispettivamente] ai due angoli $e DB'$ e $'DB$. Infatti, sono anche essi pari ad un angolo retto. Siccome gli angoli di ogni triangolo

²⁰² In figura le lettere sono indicate diversamente dal testo scritto, cioè invece di H è indicato \check{H} e invece di S (س) è indicato \check{S} (ض).

Va altresì fatto notare che nella figura che accompagna la dimostrazione del teorema esistono differenze rispetto alla stessa immagine riprodotta sul testo in lingua araba: alcune lettere mancano, altre sono spostate – seppure di poco – o sono illeggibili.

²⁰³ In figura è \check{H} , diversamente dal testo scritto (N. d. T.).

²⁰⁴ Anche qui c'è differenza fra la notazione in figura e quella del testo scritto.

assommano a due angoli retti, l'angolo B'D è retto. Per tale ragione si registra che il segmento 'H è perpendicolare al segmento AB.

Dopo di ciò diciamo che il punto A, che passa per l'estremità della fune, allorché si abbassa di una porzione di quelle in cui è stata suddivisa lo fa secondo l'arco AL [quasi corrispondente] alla quantità del segmento KL. Inoltre, lo spago del filo a piombo (linea inferiore XH) della lastra passa per il punto Ş e in tale punto mettiamo un contrassegno. Quando abbassiamo il capo della fune di un'altra suddivisione, cioè della dimensione dell'arco ML, che scende verticale della misura del segmento MK, lo spago del filo a piombo raggiunge il punto Q. Quindi, contrassegniamo anche quest'altro punto. Dopo che l'estremità della fune è scesa della dimensione dell'arco MN, che scende verticale della misura del segmento KN, il piombino passa per il punto R, contrassegniamo anche questo. L'abbassamento successivo di un arco del capo della fune dell'arco NS, il cui abbassamento verticale è dato dal segmento KS; [p. 77] in questo caso lo spago del filo a piombo passa per il punto Ş; contrassegniamo anche questo. L'abbassamento seguente di un arco del capo della corda dell'arco S T, il cui abbassamento verticale è dato dal segmento TK; in tal caso, lo spago del filo a piombo passa per il punto T, che pure contrassegniamo. L'abbassamento successivo di un arco del capo di fune dell'arco TF, il cui abbassamento verticale è rappresentato dal segmento 'F che, a questo punto, ha raggiunto la parte più bassa della palina e lo spago del filo a piombo passa per il punto H che rappresenta la fine.

La retta AH è stata suddivisa in sei parti uguali; gli angoli con vertice in D sono, uno ad uno, uguali ai corrispondenti angoli situati nel punto B; cioè il primo è uguale al primo, il secondo è uguale al secondo e così via. Anche le dimensioni dei sei angoli sono corrispondenti una all'altra; cioè l'angolo HBZ non è uguale all'angolo ZBT e neanche agli altri quattro angoli. Infatti, l'angolo BZT è maggiore dell'angolo retto e la dimensione dell'angolo TZB, sovrabbondante rispetto all'angolo retto, non è uguale – per difetto dell'angolo ZTB – all'angolo HBZ. Poiché gli angoli in D sono – uno ad uno – simili agli angoli situati nel punto B, i triangoli le cui basi sono situate sulla retta AH sono simili – uno per uno – ai triangoli situati con la base sulla retta HF. Pertanto, i segmenti HZ, ZT, TI, IL, LS e SF sono omologhi ai segmenti AS, SQ, QR, RŞ, ŞT e TH poiché i segmenti HH, HK, KM, MN, N',²⁰⁵ 'F sono contrapposti ai segmenti HZ, ZT, TI, IL, [p. 78] LS, SF ed anche i segmenti AS, SQ, QR, RŞ, ŞT e TH²⁰⁶ non lo saranno. Questo è il teorema da dimostrare.

²⁰⁵ Salta il punto M e la relativa discussione (N. d. T.).

²⁰⁶ La traduzione riporta le lettere del testo scritto; per le incongruenze e le differenze rispetto alla versione araba, cfr. note precedenti (N. d. T.).

La palina AJ con movimento nel punto A si sposta verso l'altra palina: quando il punto A raggiunge il punto L, la palina coincide col segmento KL; quando il punto A si sposta in S, la palina coincide col segmento KS; quando il punto A si sposta nel punto S, la palina corrisponde al segmento KS; quando il punto A si sposta in T, la palina coincide col segmento TK; quando il punto A si sposta in F, il segmento HF è rappresentato dalla palina stessa. Il quadrilatero HXBU è la livella stessa poiché rappresenta metà quadrante i cui lati sono simili al quadrilatero formato dalla palina e dalla fune [a loro volta] simili a quel perimetro secondo la figura 5.

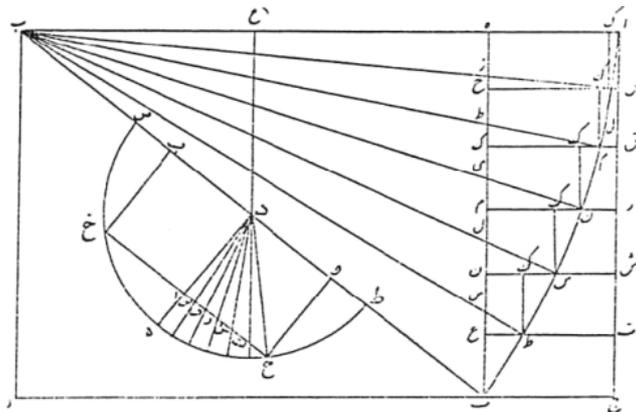


Fig. 5a. Da: H. Xadivjam

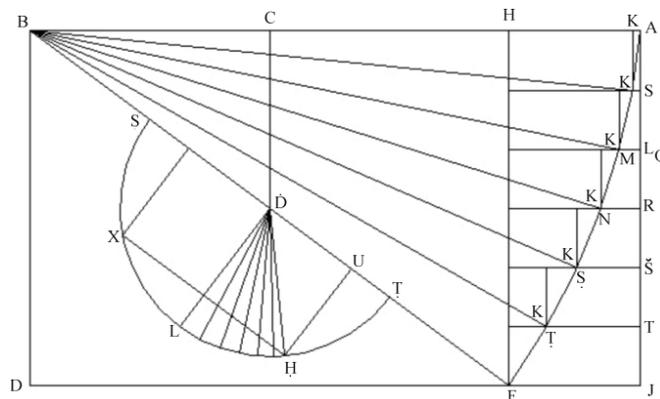


Fig. 5b. Rielaborazione con trascrizione alfabetica latina

[p. 79] Se la lastra è a forma semicircolare, è tanto meglio; soprattutto se essa è forata e priva delle parti centrali, in modo che di questa mezza placca a forma di arco resti quel tanto che consente di tracciarvi sopra le tacche verticali e le suddivisioni richieste. Quest'arco va ripartito con tacche verticali; deve restare anche la corda dell'arco sulla quale vanno segnate le posizioni in verticale e su

cui vanno montate le anse e va collegato lo spago del filo a piombo; nello stesso tempo, [lo strumento] deve essere leggero, in modo da poterlo utilizzare [agevolmente] per effettuare il rilievo.

Ho inventato una livella che, rispetto a tutte queste altre, è migliore per effettuare il rilievo in modo più comodo e preciso, a condizione, però, che l'operatore sia esperto e pratico. La caratteristica di tale livella è questa: si sceglie una lastra circolare o quadrangolare – di ottone o di legno – e le si pratica un piccolo foro nella parte centrale. Si sceglie un tubo di ottone della misura di un palmo e mezzo – o poco più o poco meno – e che sia perfettamente diritto e solido ed abbia un foro grande quanto un ago da tappezziere. Il tubo, grazie ad un gancio che può passare attraverso il suddetto foro, viene sospeso al centro della lastra secondo l'immagine del goniometro dell'astrolabio. Se questo tubo è un pò più grande della lastra non importa. Alla lastra viene montato un gancio che consente di appenderla. Quindi, si sceglie un legno alla cui estremità ci sia un chiodo cui è stata schiacciata la testa e si appende la lastra a questo chiodo. Il legno deve essere diritto alle estremità; la sua lunghezza deve essere di quattro palmi in modo che, quando la lastra è sospesa ad esso e si è seduti sulle ginocchia, si possa guardare in parallelo attraverso il foro del tubo collocato sulla lastra. Se anche la lunghezza del tubo è poco [p. 80] più grande o più piccola – oppure il filo di sospensione è più lungo o più corto – non importa in quanto ciò è possibile e dipende dalla statura di chi effettua il rilievo secondo la modalità che ho descritto. Si sceglie, quindi, una spessa tavola a sezione quadrangolare che sia lunga quel tanto che un uomo in piedi possa toccarne l'estremità con la mano. Questa dimensione corrisponde a circa nove palmi. Quest'asse deve essere diritto alle estremità, liscio, né deve avere alcuna curvatura e deve avere le facce parallele. Si suddivide la lunghezza di quest'asse in sessanta parti uguali e, finché è possibile, ogni intervallo viene suddiviso ancora in porzioni uguali. Nella parte alta – ed anche nella parte bassa – di quest'asse si lascia una fascia di un palmo in cui non si praticano le suddivisioni. Nella parte superiore – cioè all'estremità della ripartizione – si mette un contrassegno di colore rosso, bianco oppure nero adatto al perseguimento dello scopo. Questo contrassegno deve essere identificabile da lontano e deve essere chiaro ed evidente. La dimensione di questo segnale deve essere grande quasi quanto una moneta da mezzo *dihram* e l'ultima linea – la più grande – di quelle della ripartizione lo suddivide in due parti uguali. Pure sulla linea inferiore viene evidenziato un analogo contrassegno che viene suddiviso in due metà uguali dall'ultima linea della parte bassa.

Quando si sarà ultimata questa operazione, si prepara per questo regolo di legno una specie di collare, a forma quadrangolare, la cui apertura sia giusto quanto la misura dell'asse di legno, in modo che non scivoli spostandosi dal proprio posto. Sul lato di questo anello [p. 81], che si muove lungo la superficie

disegnata del regolo, c'è un contrassegno simile a quelli che sono stati disegnati sopra l'asse di legno. Quindi, si prende una corda di seta o di lino, ben ritorta, solida ed il cui spessore sia più sottile di un ago da tappeziere. La lunghezza di questa corda deve essere di cento cubiti o più. Infatti, l'occhio può distinguere bene le predette tacche da una distanza di cento cubiti. La lunghezza della corda viene fissata in funzione della capacità visiva dell'occhio dell'osservatore. Infatti, è possibile che vi sia un osservatore in grado di mirare questi contrassegni attraverso il foro del suddetto tubo anche da una distanza maggiore; pertanto, la lunghezza del filo viene connessa a siffatta distanza. Ad ambedue i capi di questa fune si montano due anelli. Uno dei due anelli si fa scorrere mentre il topografo effettua la misurazione. L'altro anello, invece, si trova nella mano della persona che tira la fune e la fa scorrere lungo la palina per effettuare la misurazione. Nella mano di costui c'è anche la livella per eseguire il livellamento, cioè la suddetta lastra. Si solleva, quindi, un anello collegato all'estremità della fune e, nel momento in cui si prende la misura, bisogna iniziare da lì ed ivi ci si colloca. Quindi, si ordina al collaboratore di sollevare il regolo dipinto della dimensione della lunghezza della fune di cui un estremità è collegata all'anello e questo anello si fa scorrere lungo l'asta, mentre [il topografo] si allontana. Chi dei due operatori staziona nel sito più alto, cala a terra il gancio della fune, mentre l'altro si mette in stazione nel sito a quota più bassa. Solleva, poi, l'anello della fune del sostegno di quel tanto che sopravanza accertandosi che [la corda] sia quasi parallela con l'orizzonte. Questo parallelismo che viene controllato – tramite la vista – dal terzo uomo che si trova al centro della corda è chiaro [p. 82] e noto.

Dopo che la corda si è messa in parallelo col piano d'orizzonte, la persona che tiene in mano la livella, se è posizionata nel luogo più basso, dall'estremità della corda lascia cadere a terra un sasso e colloca nel punto in cui questo si è posato il sostegno cui è appesa la livella a lastra in modo che sia perfettamente verticale e non si inclini verso alcuna direzione. Se, invece, quella persona è in stazione nel sito più alto, appoggia a terra il sostegno cui è appesa la livella a lastra nel punto in cui la fune tocca il suolo, quindi stacca la lastra e si mette ferma.

Successivamente, quest'uomo, dal foro del tubo, guarda verso l'asta disegnata e fa ruotare il tubo di quel tanto da metterlo di fronte al contrassegno inferiore della lastra ed in modo che, attraverso il tubo, si veda il contrassegno; questo nel caso in cui il topografo sia nel luogo più in basso rispetto al luogo in cui si trova la parte disegnata e che l'asta del disegnatore sia nell'altra direzione e alla distanza dell'intervallo della fune, cioè sia situata dallo stesso lato che si vuole livellare; si prosegue [quindi] in quella direzione. Questo metodo, lo può applicare con perspicacia qualsiasi persona, in quanto nostro fratello. Nelle pianure piatte dove è ridotto qualunque dislivello – sia altura, sia depressione –

si osserva e si riosserva, ma se il luogo da livellare è più alto del suddetto sito, con l'aiuto dell'occhio ci si adatta [da soli] il contrassegno.

Dopo che il livellamento è ultimato, si va con la livella dall'altra parte e ci si tiene distanti dal regolo quant'è la lunghezza della fune, in modo che – tenendo in mano una delle due estremità della fune – ci si collochi nella direzione in cui [p. 83] si vuole effettuare il livellamento, diretto o indiretto. Quindi, si tira il capo della fune di quel tanto da metterla quasi orizzontale, come [già] dissi. Se accade che il capo di fune che si tiene in mano è in aria, dall'estremità della fune si lascia cadere a terra un sasso, in modo che si sappia dove installare il sostegno della livella.

Se, invece, l'estremità della fune che si tiene in mano capita a terra, il sostegno della livella si colloca laddove c'è il capo della fune e si guarda attraverso il foro del tubo in direzione della faccia della palina designata. In quella posizione, si fa girare su se stessa la persona che mantiene il regolo – cioè dal lato che contiene il contrassegno – e si ordina a chi tiene la palina di spostarla più in alto o più in basso in modo che – attraverso il foro del tubo – sia visibile il contrassegno sulla palina. Quindi, una volta individuato questo marchio, si ottiene l'intervallo fra il centro di questo segnale ed il centro del contrassegno che è stato determinato dal primo sito guardando attraverso il foro del tubo. Quanto avanza [della fune] rappresenta proprio l'altezza e si ottiene certamente la prevalenza – in altezza – di uno dei due siti.

Questi due luoghi rappresentano proprio i posti della livella e della palina. Essi si deducono ottenendo la misurazione della prima e della seconda stazione. Quindi, si appuntano queste due differenze e si ordina alla persona che mantiene la palina di avanzare della lunghezza della corda. Il rimanente lavoro da effettuare è simile all'operazione esposta a proposito della misurazione della depressione o della elevatezza del suolo. [Si continua questa operazione fino a che si consegue il risultato richiesto] e l'operazione si esaurisce allorché il contrassegno del collarino è posizionato al centro della palina del disegnatore.

Nel caso che il rilievo venga effettuato su una superficie pianeggiante in cui le alture e le depressioni [p. 84] abbiano dislivelli minimi, si opera così: allorché il raggio visivo dall'interno del tubo della livella cade al di sopra del contrassegno del collarino, l'intervallo fra il punto mirato ed il centro di questo contrassegno – per quanto concerne la misurazione dell'altezza del sito – è secondo rispetto al primo stazionamento. Se, invece, esso capita al di sotto del contrassegno, [p. 85] accade che la mira di questo sito è più bassa rispetto all'altra; se l'intervallo si suddivide in tre porzioni – cioè si posiziona un'altra

palina al centro di questo intervallo – con questa misurazione si ottiene una misurazione più precisa (Fig. 6).²⁰⁷

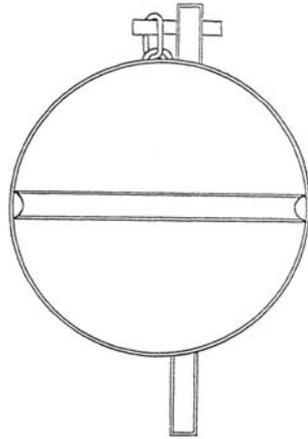


Fig. 6a.
Da: H. Xadivjam

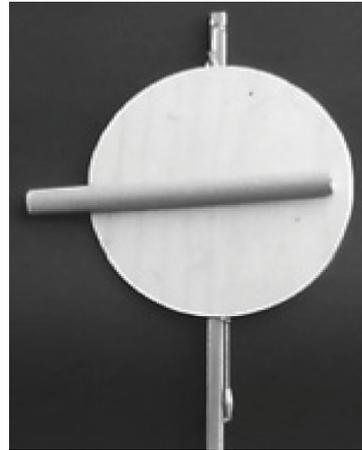


Foto n.o 3

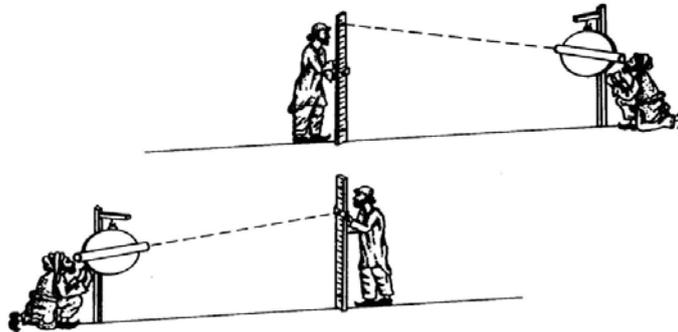


Fig. 6b. Da: Ğ. KUROS, *Ab va fann-e ābyārī dar Irān-e bāstān*, Tehrān, 1350 H./1972-3

Se, poi, il sito da livellare è accidentato e pieno di alture, occorre che la palina a tronco non sparisca dal campo visivo, si accorcia la fune e la si tira di una quantità tale che la palina non sparisca dalla vista del topografo, a condizione che la seconda volta si misuri anche l'intervallo centrale. Cioè, la persona che mantiene la livella da misurazione, rispetto al sito in cui è la palina si colloca alla stessa distanza che aveva nella tappa della prima misurazione. Segue la figura relativa (fig.7).

²⁰⁷ Su tale livella l'autore tornerà in seguito con ulteriori dettagli e dimostrazioni geometriche.

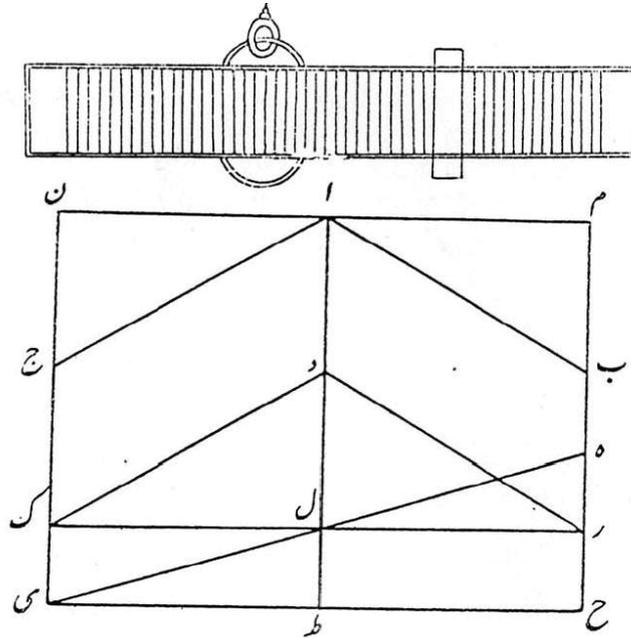


Fig. 7a.
Da: H. Xadivjam

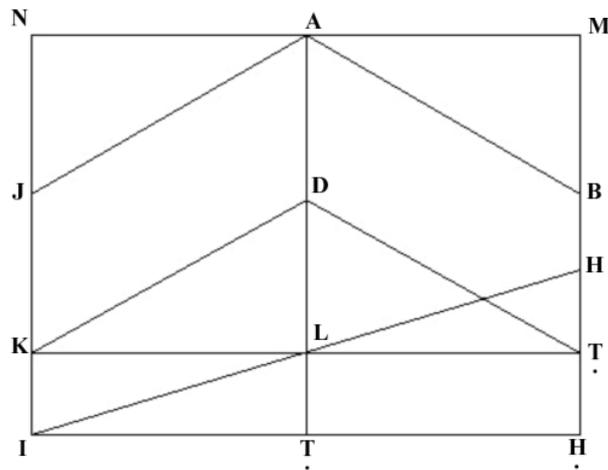


Fig. 7b.
Rielaborazione con trascrizione alfabetica latina

Dimostrazione di questo problema: tracciamo sul suolo una retta che colleghi il primo ed il secondo punto di stazione; questi due punti rappresentano il centro della livella la prima e la seconda volta che è stata ipotizzata la retta (HI). Ipotizziamo che la retta (BH) rappresenti la distanza dal suolo misurata dal

centro della livella – cioè del cerchio che è stato descritto – ed immaginiamo che la retta uscente dal centro del tubo verso la palina rappresenti la retta (BA); stabiliamo che la retta (LA) sostituisca la palina disegnata, quando il topografo cambia il proprio posto si posiziona il piedistallo della palina nel punto (I). La retta (KI), in questo punto, rappresenta la distanza fra il suolo ed il centro della livella; il raggio che dall'occhio del topografo esce da dentro il tubo è rappresentato dalla retta (KR); diciamo che la retta (DA) rappresenta la stessa altezza del punto (H) rispetto al punto (I). La dimostrazione del teorema è la seguente: tracciamo la retta (HI) – passante per il punto (I) – perpendicolare al piano orizzontale; questa retta è perpendicolare a ciascuna delle due rette (IJ) e (HB) che rappresentano il piedistallo [p. 86] della livella nei due punti di stazione nei quali si effettua il livellamento. Perciò, la retta (RD) – passante per il punto (D) – è parallela ad (AB). Tracciamo, quindi, la retta (AJ) – passante per il punto (A) – parallela alla retta (DK). Ora dimostro: i due quadrilateri (BRDA) e (JKDA) sono congruenti. Infatti, la retta (BR) è parallela alla retta (JK), e queste due rette sono anche uguali fra loro per il fatto che la retta (AM) – che rappresenta l'altezza della figura (BRDA) rispetto alla base (BR) – è uguale alla retta (AN), che rappresenta l'altezza della figura (JKDA) rispetto alla base (JK). Perciò, i due parallelogrammi sono costruiti su due basi uguali e le relative altezze sono parallele; quindi, sono uguali anch'esse e saranno uguali anche i segmenti (BR), (AD) e (JK).

Dimostrato ciò, dico che nei due triangoli RDL e KDL il segmento RD è contrapposto e proporzionale al segmento DK e che la retta DL è in comune e che l'angolo RDL è uguale all'angolo LDK. In conseguenza, l'angolo RDL è uguale all'angolo DLK e sono ambedue angoli retti. L'angolo LTI è anche esso retto. Inoltre, il segmento RK è perpendicolare al segmento HI; il segmento RH ed il segmento KI sono uguali. Poiché ognuno di questi due segmenti rappresenta la distanza fra il suolo ed il centro della livella, anche il segmento (RH) sarà uguale al segmento (BH). Ora, poiché stabiliamo che il segmento (HR) è proporzionale a questi due segmenti, in tal caso il segmento (BR) sarà uguale al segmento (HH). Ma, poiché il segmento (BR) è uguale al segmento (AD), anche il segmento (HH) sarà uguale al segmento (AD). D'altro canto, il segmento (HH) rappresenta l'altezza (H) passante per il punto (I) [p. 87], inoltre, il segmento (AD) – che è uguale ad essa, cioè ad (HH) – rappresenta proprio l'altezza cercata ed è anche appunto quella che volevamo dimostrare (fig.7). Possiamo dimostrare questa asserzione anche per altra via: si scelga una livella simile a quella già descritta, si collochi il tubo nel suo centro, si realizzi una palina secondo le modalità già descritte e si disegni sulla sua faccia dipinta soltanto un contrassegno la cui distanza fra il suo centro ed il piano del suolo sia parallela alla distanza fra il centro della livella e la superficie del terreno [p. 88] nel punto in cui è appoggiato il piedistallo della livella.

Quando si vuole effettuare il livellamento con questo strumento, si porta il tubo sulla retta che passa per il centro della lastra e la suddivide in due parti uguali, questo tubo è parallelo al piano orizzontale. Quindi, si mira, la palina attraverso il foro del tubo, in ogni direzione. Se il punto individuato è proprio il centro del contrassegno, in tal caso i due punti sono allo stesso livello e nessuno è più alto dell'altro. Se il punto visto è, invece, più in alto del centro del contrassegno, in tal caso, l'intervallo fra il punto mirato ed il centro del contrassegno rappresenta proprio [la differenza dell'] l'altezza del sito della livella rispetto al sito del tubo. Se il punto mirato, invece, capita al di sotto del contrassegno, in questo caso la distanza fra il punto visto ed il centro del contrassegno rappresenta proprio la dimensione [della maggiore] dell'altezza della palina rispetto al punto in cui è situata la livella. Si procederà in maniera analoga fino all'ultimo punto di cui si vuole determinare il livellamento. Questo procedimento è preferibile rispetto al precedente. Infatti, in questo caso non è necessario utilizzare la corda e non esiste alcuna difficoltà nel misurare un qualsiasi punto che sia lontano dalla livella. Se, poi, il punto mirato capitasse al di fuori della palina, basta comandare a chi tiene la palina di avvicinarla di più al topografo, in modo che non venga omessa la misurazione di nessuna parte. Inoltre, la palina deve essere estremamente precisa e dritta in modo che la misurazione sia esatta. Se, tuttavia, essa avesse un pur piccolo ingobbamento, l'errore sarebbe [comunque] riparabile puntando verso la palina ogni volta che si esegue [la misurazione] dall'altro verso. Una volta si punta nel verso iniziale ed un'altra volta nel verso opposto a condizione che la persona che mantiene la livella sia alla stessa distanza [p. 89] dalle paline in ambedue i versi.

Con questo strumento si può operare anche nel seguente modo: si sceglie una lastra quadrangolare e le si installa un tubo al centro. Si disegna, quindi, un cerchio più grande attorno al centro di tale lastra che viene annodata al proprio piedistallo tramite una cinghia o una fascia. Quindi, si appronta un asse a sezione quadrangolare lungo dieci palmi. Su una delle sue facce – come ho detto – si disegna un contrassegno. La distanza di questo contrassegno dal suolo – nel punto in cui la palina viene collocata – deve essere uguale all'altezza fra il centro ed il suolo. Beninteso, nel caso in cui il piedistallo della livella sia poggiato a terra. Quindi, si riporta sulla palina la suddivisione sessagesimale fra il centro del contrassegno e la sua sommità; ogni relativa porzione – fino a che è possibile – viene ulteriormente suddivisa in frazioni più piccole. Si esegue questa suddivisione anche nel tratto compreso fra il centro del contrassegno ed il piede del regolo cosicché ogni pur piccola porzione contenga uguali suddivisioni. Successivamente, quando tale operazione è stata ultimata, si sceglie una catena realizzata secondo la modalità già descritta e di una lunghezza tale che l'occhio – rimanendo fermo – possa individuare le suddivisioni [dipinte] senza che la visione sia alterata. Successivamente, si scelgono due punti distanti quanto la catena [p. 90] e tali che ambedue siano

allo stesso livello e che l'altezza dell'uno non prevalga su quella dell'altro. Quindi, si collocano la palina in uno dei due punti estremi e la livella nell'altro; poi, attraverso il foro del tubo, si mira il contrassegno della prima suddivisione al di sopra del centro della palina. Allora, nel punto situato di fronte alla livella²⁰⁸ e la fune che è acclusa al tubo si colloca il contrassegno laddove essa passa. Poi si alza l'estremità del tubo e lo si fa ruotare finché si individua il secondo contrassegno e si contraddistingue sulla lastra anche il punto in cui esso passa. Via via si procede analogamente anche nella parte superiore fino a raggiungere la sommità del regolo. In tal modo, il quadrante superiore della lastra viene suddiviso in porzioni sessagesimali. Poi, si suddivide in frazioni anche la parte inferiore della palina. Fino a che è possibile, ogni porzione si suddivide in ulteriori frazioni. È necessario, però, che ogni sua porzione sia identica alle frazioni riportate sulla palina. Tale operazione deve essere compiuta in maniera precisa. Quindi, si tira una retta passante per ciascuno dei contrassegni che sono stati specificati – cioè i punti di cui abbiamo discusso – e per il centro della livella; si traccia un segmento compreso fra il contrassegno ed il cerchio fino a raggiungere, con questo procedimento, il tubo. Al di sotto di questo sono note le porzioni ed i relativi frazionamenti. Tale tipo di livellamento richiede una più appropriata conoscenza scientifica. Quando si vuole effettuare il livellamento con questo strumento, deve essere noto il punto di partenza e si ordina alla persona che mantiene il regolo di situarsi ad una distanza tale della catena che l'intervallo fra il piedistallo della livella e la palina sia uguale alla lunghezza della catena. [p. 91] Quindi, si indirizza il tubo della livella verso il lato del contrassegno; se il tubo combacia con la linea parallela al piano orizzontale – che suddivide in due parti uguali il quadrante della livella – e passa per il centro del cerchio del tubo, i due siti si trovano alla stessa altezza; se, [invece] l'estremità del tubo passa al di sotto della linea parallela all'orizzonte, si annota il numero delle parti nella zona inferiore che mancano [per arrivare] alla sommità del tubo e che indicano proprio la differenza di quota – in positivo – del sito in cui è collocato il piedistallo della livella rispetto al sito dove è installata la palina. Se l'estremità del tubo capita al di sopra della linea parallela al piano orizzontale, si annota la misura delle porzioni che capitano al di sopra e che indicano proprio la differenza di altezza – in negativo – esistente fra il luogo in cui è installata la livella e quello in cui è impiantata la palina. Si procede con questo tipo di misurazione fino a raggiungere il limite desiderato.

L'inizio delle porzioni che sono state tracciate sulla lastra nella metà superiore ed in quella inferiore [p. 92], a lato della retta, è parallelo al piano orizzontale e continuamente bisogna che, nel momento in cui si fissa attraverso il tubo il contrassegno riportato sulla palina e quello che viene letto sulla lastra sono

²⁰⁸ Cioè dal lato dritto della lastra (N. d. T.).

come le suddivisioni riportate sulla palina. E ciò è riportato sia sulla livella, sia sul regolo (fig.8).

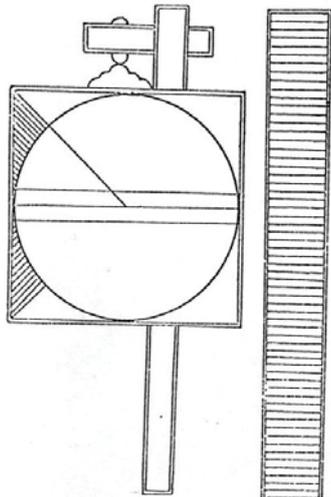


Fig. 8.
Da: H. Xadivjam

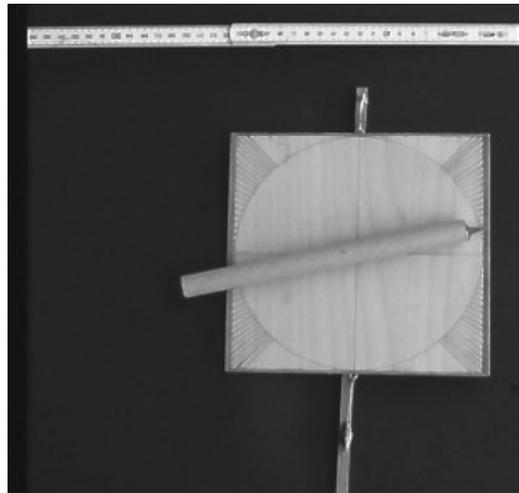


Foto n.o 4

Se si preferisce, è possibile eseguire questo frazionamento secondo il metodo geometrico – infatti, questo tipo di suddivisione – a differenza dei metodi esposti in precedenza – va eseguito in tal modo: mentre la livella è collocata in direzione della palina, è necessario che l'intervallo fra queste [due] sia pari alla lunghezza della catena, l'altezza del centro della livella non deve essere a quota più alta rispetto al contrassegno riportato sulla palina; infatti, ambedue devono trovarsi alla stessa quota in modo che sia nota la misura fra il centro della livella ed il centro del contrassegno dipinto sulla palina, e della linea che da sopra la palina va a finire al centro della livella, in modo da formare un triangolo rettangolo.

Se tracciamo una retta sulla parallela al piano orizzontale riportata nella metà superiore della lastra, se questa lastra è pendula, si forma un triangolo simile al triangolo di cui ho detto. Uno dei lati di questo triangolo è metà della retta che taglia la lastra in due metà parallele al piano orizzontale, l'altro lato è rappresentato dal prolungamento della livella la cui traccia è individuata sul regolo dipinto, beninteso, nel caso in cui la livella sia sospesa. Il terzo lato è [rappresentato da] la stessa retta che fuoriesce dal centro della livella sulla predetta altezza. Questo segmento, inoltre, è una porzione della retta prolungata dalla sommità del regolo al centro della lastra. Quindi, se tracciamo questo triangolo sulla lastra [avviene che]: [p. 93] il lato che giace sul prolungamento o

sul lato della lastra interseca l'insieme delle suddivisioni riportate nella metà superiore del regolo. La conferma di questo problema è la seguente:²⁰⁹

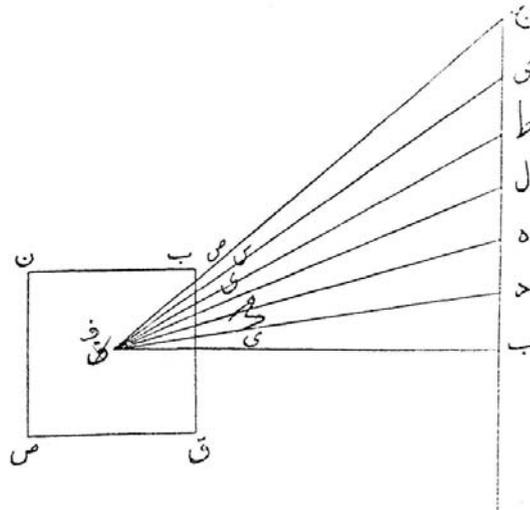


Fig. 9a.
Da: H. Xadivjam

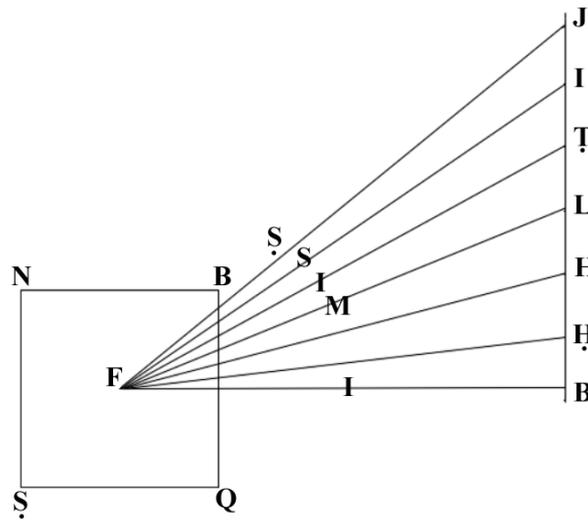


Fig. 9b.
Rielaborazione con trascrizione alfabetica latina²¹⁰

²⁰⁹ Cfr.: fine capitolo.

[p. 94] Consideriamo il quadrato $QR\check{S}T$ dato dalla lastra della livella, sia il segmento JN la lunghezza del regolo ed il punto B sia il contrassegno riportato sulla palina; il punto F è il centro della livella e non deve essere né più alto né più basso. Il segmento FB in questa figura rappresenta la lunghezza della catena; il segmento FJ è proprio la retta che congiunge il centro della livella al punto J cioè alla sommità della palina contrassegnata.

[p. 95] Il segmento $\check{S}Q$ è parallelo al segmento JN ; il triangolo $F\check{S}$ è simile al triangolo FBJ ; infatti, l'angolo $F\check{S}$ è retto, così pure l'angolo BFJ ; l'angolo BFJ e l'angolo $\check{S}FI$ sono uguali. Inoltre, l'angolo $F\check{S}I$ e l'angolo FJB sono uguali. Poi, l'angolo $F\check{S}I$ e l'angolo FJB sono uguali. Il segmento BJ , che rappresenta la parte superiore della palina, è stato suddiviso in sei parti e, beninteso, lo si può suddividere anche in un numero maggiore o minore di porzioni. Le porzioni del segmento BJ sono uguali una all'altra. Ora, diciamo che anche le porzioni del segmento $\check{S}I$ sono uguali. La conferma di questo problema è la seguente: il triangolo BHF è simile al triangolo FIL . E il rapporto tra BH e LI è pari al rapporto tra BF e IF ; e così nei due triangoli simili BDF e IKF il rapporto fra BD e KI è pari a quello tra BF e IF . Cosicché il rapporto fra HB e IL corrisponderà a quello tra BD e KI . Se confrontiamo queste proporzioni (= le confrontiamo) il rapporto BH e BD è uguale al rapporto LI e KI e se sottraiamo i denominatori ai numeratori il rapporto HD e BD è pari al rapporto tra LK e KI , poiché il segmento HD è uguale al segmento BD , anche il segmento LK sarà uguale al segmento KI . Ed anche il rapporto BJ e $I\check{S}$ è pari al rapporto fra $B\check{H}$ e $Q\check{S}$ con BF e IF ; anche il rapporto BJ e $I\check{S}$ è pari al rapporto $B\check{H}$ [p. 96] e QI . Se invertiamo il rapporto BJ e $B\check{H}$ e lo confrontiamo col rapporto $I\check{S}$ e IQ e confrontiamo [anche] il rapporto tra $J\check{S}$ e $\check{H}B$ col rapporto $\check{S}Q$ e QI , poiché il segmento $\check{H}J$ è $1/5$ del segmento $\check{H}B$ e poi il segmento $\check{S}Q$ è anche esso $1/5$ del segmento IQ , anche ciò che resta è proporzionale. Ciò è proprio quanto volevamo dimostrare. Inoltre, è dimostrato anche il teorema della similitudine tra il segmento $\check{S}Q$ e [il segmento] $\check{S}I$.

Si veda la figura:

²¹⁰ Nel testo questa figura non è numerata. Non trova corrispondenza col testo che prosegue, invece, con altra dimostrazione.

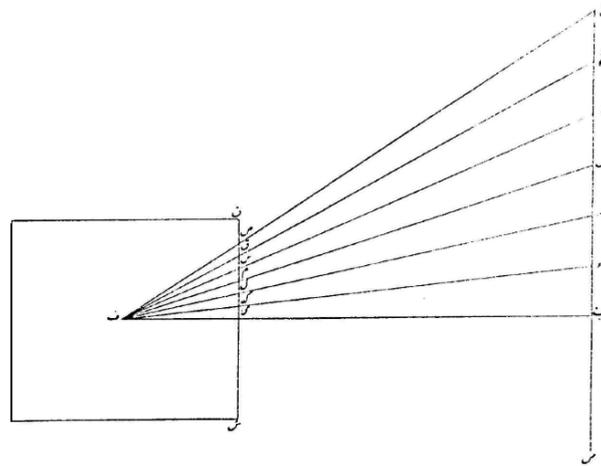


Fig. 10a.
Da: H. Xadivjam

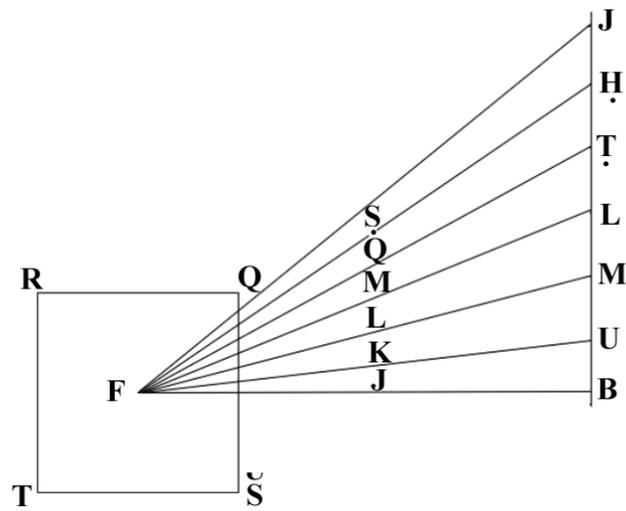


Fig. 10b.
Rielaborazione con trascrizione alfabetica latina

[p. 97]

*[Capitolo 19]***CAPITOLO**

DESCRIZIONE DI UNO STRUMENTO GRAZIE AL QUALE È POSSIBILE CONOSCERE L'ALTEZZA DELLE MONTAGNE, SI PUÒ MISURARE LA DISTANZA FRA IL SITO DI STAZIONE E LA VETTA DI UNA QUALSIASI MONTAGNA O DI QUALSIASI INDICATORE VISIBILE, O SI PUÒ DETERMINARE LA DISTANZA FRA DUE MONTAGNE O FRA DUE INDICATORI VISIBILI, O SI PUÒ LIVELLARE IL TERRENO

Si scelga una lastra quadrata che abbia al centro un foro nel quale possa agevolmente ruotare l'asse di un tubo. Intorno al centro di questa lastra si tracci un cerchio il più grande possibile ed il cui contorno sia tangente alla mezzeria dei lati del quadrato. Quindi, si suddivida il cerchio con i due diametri che passano per il centro del foro della lastra ed in modo che questi due diametri passino per i punti di tangenza, cioè per i luoghi in cui la circonferenza del cerchio è tangente con i lati del quadrato. Su uno dei lati di questa lastra si installi un gancio attraverso il quale passi il prolungamento di uno di questi due diametri. Dopo, si scelga un tubo che sia lungo quanto il diametro del suddetto cerchio e la cui superficie sia tangente alla superficie di questa lastra. A causa dell'eccedenza delle porzioni della lastra, alle due estremità di questo tubo occorre [p. 98] che vi siano due sottili aculei. Ai due lati della lastra, che si colloca in posizione verticale allorché si appende, secondo le modalità descritte a proposito della quinta livella, si riportino, fino a che è possibile, delle suddivisioni piccole e precise, in modo che ad ogni lato di questa lastra resti un poco di spazio libero. Bisogna che siano tracciate le stesse suddivisioni anche sulla parallela all'orizzonte, la ripartizione deve iniziare dal centro della lastra, ad ambedue i lati del tubo, dopo che ogni metà della lastra è stata suddivisa in due quadrati, ogni porzione è contrapposta a quelle riportate sui lati. Quindi, si stenda una riga sottile che passi per il prolungamento del centro e delle suddivisioni longitudinali dei due lati della lastra; dal lato della lastra, fino al cerchio, si traccino delle rette, in modo che la freccetta posta all'estremità del tubo, si trovi sempre sul cerchio;²¹¹ si capisce, allora, che il tubo si viene a trovare su alcune delle suddivisioni laterali della lastra. E questa [che segue] è l'illustrazione della lastra e della relativa ripartizione (fig.11).

²¹¹ Contorno; come negli altri casi, nel testo viene lasciata la traduzione letterale (N.d.T.).

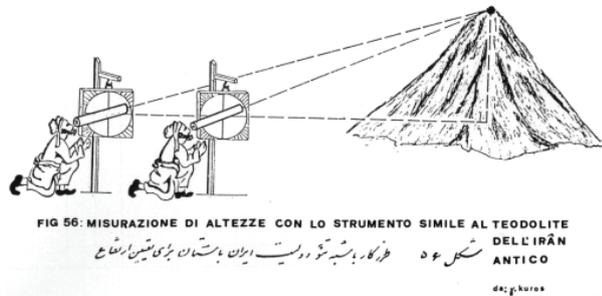


Fig. 11a.

Da: G. KUROS, *Ab va fann-e ābyārī dar Irān-e bāstān*, Tehrān, 1350 H./1972-3

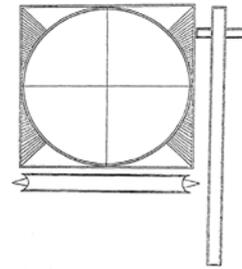


Fig. 11b.

Particolare della lastra. Da: H. Xadivjam

Se si vuole misurare l'altezza di una montagna – per quanto essa sia vicina o lontana – e si sa che la sua altezza è rappresentata dalla lunghezza della retta verticale passante per la vetta della montagna e che fuoriesce dal suolo, tanto che bisogna intersecare il piano orizzontale passante per il sito in cui si staziona e che si prolunga sotto la montagna. Anche se si vuole conoscere la distanza che intercorre fra se stesso e la cima di una montagna, si operi nel seguente modo: si scelgano due siti posti allo stesso livello e si appenda lo strumento al proprio piedistallo; quindi si collochi la base del vettore nella distanza più vicina alla montagna e poi si miri con lo sguardo a lato della cima della montagna e [verso] il sito che è laterale al tubo e di cui si contrassegna il prolungamento che si interrompe in corrispondenza della lastra.²¹² Successivamente, [mantenendo] sempre quella stessa direzione, ci si allontana da quel sito, in modo che [p. 99] il piedistallo verticale dello strumento venga a trovarsi sulla [retta] prolungata fra la cima della montagna e i due punti di vista, il primo ed il secondo. Conoscere ciò è facile. Si posizioni lo strumento al suolo e si miri col tubo verso la cima della montagna e si contrassegni il punto che viene a cadere su di esso a fianco del tubo. Quindi, si ottiene la frazione che ricade fra i due contrassegni e si appuntano le differenze. [p. 100] Bisogna registrare anche la quota della distanza fra il lato della retta parallela all'orizzonte ed il contrassegno indicato la seconda volta sulla lastra dalla freccetta del tubo. Così pure bisogna ricordare la distanza fra il centro dello strumento ed il primo contrassegno sulla lastra e bisogna rintracciare il contrassegno che ricade al di sopra delle suddivisioni riportate dal centro dello strumento per potere

²¹² La spiegazione che viene data qui differisce da quanto l'autore successivamente argomenta e dimostra con l'aiuto della figura; qui non è riportato che, certamente, la freccetta del tubo dell'angolo del quadrato della lastra e (che) l'estremo incontra le suddivisioni, mentre nella figura si osserva che lo è (nota del traduttore persiano Xadivjām).

effettuare questa misurazione.²¹³ Inoltre, è un dato noto l'intervallo fra il centro dello strumento a fianco della retta che passa per il centro e parallela al piano orizzontale e lo si tiene anche a mente; perciò, successivamente, si dispone di quattro misure. Dipoi, si moltiplicano le porzioni della seconda altezza – rappresentata dall'intervallo fra il lato della retta parallela all'orizzonte ed il secondo contrassegno – per la distanza che capita dietro;²¹⁴ il prodotto della moltiplicazione si suddivide per l'insieme delle porzioni della retta parallela all'orizzonte che è stata calcolata a partire dal centro della livella. Si appunta, quindi, il quoziente di quanto è stato innanzi nominato, riportando quella dimensione in cubiti. Successivamente, si moltiplicano le porzioni che sono state ottenute dalla misurazione dell'intervallo fra il centro dello strumento ed il primo contrassegno ottenuto prima; il prodotto della moltiplicazione si divide per le porzioni comprese fra i due contrassegni – il primo ed il secondo –; il quoziente è dato dalla distanza fra il primo sito e la cima della montagna calcolata in cubiti. Quindi, si moltiplicano le mezze porzioni di retta parallela al piano orizzontale per l'intervallo fra il centro dello strumento ed il primo contrassegno; il prodotto della moltiplicazione è dato dalla distanza fra il piede della retta verticale passante per la cima della montagna sul piano orizzontale passante per lo strumento [p. 101] nella prima ed in [questa] posizione; poiché il quadrato²¹⁵ dell'intervallo fra la vetta della montagna ed i primo sito e si estrae la radice. Il risultato della radice sarà dato dall'altezza della montagna.

Se, invece, si vuole misurare la distanza che intercorre fra due indicatori – sia nel caso in cui i due indicatori siano vicini, sia nel caso in cui siano lontani [dall'osservatore] – occorre innanzitutto calcolare l'intervallo unitario [relativo] di ciascuno dei due elementi e, successivamente, collocare l'apparecchio di piatto in modo che il suo lato dipinto capiti dalla parte del cielo. Quindi, si posiziona il tubo sulla linea che suddivide lo strumento in due parti uguali e si sposta l'apparecchio sulla propria base; si fissa uno dei due indicatori attraverso il foro del tubo. Successivamente si prova quell'apparecchio al proprio posto in modo che, con il movimento del tubo, non venga spostato dalla sua posizione; a quel punto si scrolla il tubo in modo che, attraverso il suo foro, si possa vedere il secondo indicatore e si contrassegna sulla lastra il punto in cui [cade] l'estremità del tubo. Successivamente, sulla lastra della livella si cercano le due lunghezze, che sono simmetriche ai due predetti contrassegni, e l'angolo fra le due rette che sono state tracciate dal centro della livella in direzione dei due indicatori da misurare. Una di quelle due lunghezze si trova sulla retta che il tubo ha indicato nella prima posizione, l'altra, invece, si trova sulla retta che il tubo ha indicato la seconda volta. Dopo che sono state ricavate queste due

²¹³ Il significato di tale espressione non è chiaro.

²¹⁴ Sic (!).

²¹⁵ Il quadrato è dato dal prodotto della moltiplicazione di ogni cifra per se stessa.

lunghezze, la loro estremità si unisce con l'altra retta e questa retta si confronta con la dimensione unitaria che rappresenta le due predette richieste rette.

[p. 102] Allorché si conosce esattamente il numero di quelle parti, si conosce [anche] la loro proporzione con ciascuna delle due predette rette [cioé gli altri due lati del triangolo]; grazie a questa proporzione, conoscendo la distanza che intercorre fra ognuna delle due vette ed il sito della misurazione, si determina [anche] la distanza fra le due cime. La dimostrazione dell'esattezza dell'espressione è [la seguente]:

Supponiamo che il segmento AB rappresenti l'altezza della montagna, che il punto J sia il centro della lastra I'KT nella prima posizione, che la retta uscente dal punto J verso la vetta della montagna sia rappresentata da AJ, che la retta uscente dal punto J verso il piede della verticale passante per la cima della montagna sia data da BJ. Ora, vogliamo conoscere la misura di questi tre segmenti. Ipotizziamo che JB sia il segmento noto misurato sul segmento BJ passante per la montagna, che la retta passante per il centro [del quadrante] e la sommità della montagna la seconda volta e nella seconda posizione sia congiunta alla retta AS, che il segmento SR sia uguale al segmento J', che questo secondo segmento sia proprio quello che, nella seconda stazione, è stato prolungato in direzione della montagna. Il quadrilatero TIK rappresenta la posizione dello strumento nella prima stazione; il quadrilatero RSUD rappresenta lo strumento nella seconda stazione e la retta RS è propria la retta J'.²¹⁶ Nel triangolo rettangolo l'angolo SQH e l'angolo SJF sono simili l'un l'altro; inoltre, il rapporto fra QS e il segmento SJ è uguale al rapporto fra QH ed il segmento FJ; ma il segmento HQ è noto, poiché la sua misura è data dalla porzione della seconda altezza S. [p. 103] QD che passa per il centro S. Anche il segmento QS è noto, poiché è metà del segmento QD, il segmento JS è noto, poiché è nota la sua dimensione in *zarl*.²¹⁷ Inoltre, il segmento HQ moltiplicato per il segmento SQ e diviso per il segmento SQ dà come il segmento FJ. Anche il triangolo AJF sarà simile al triangolo HRS. La dimostrazione relativa è la seguente. L'angolo AFJ è uguale all'angolo FHQ; infatti, il segmento FJ è parallelo al segmento HQ; inoltre, l'angolo RHS opposto al vertice di FHQ, sarà anche uguale all'angolo AFJ; l'angolo BAJ è uguale all'angolo HRS. Ma l'angolo BAJ è uguale all'angolo AJF.

Infatti, il segmento AB è parallelo al segmento FJ; inoltre, l'angolo AJF è uguale all'angolo HRS e, necessariamente, l'angolo JAF sarà simile all'angolo HSR. In base a questa dimostrazione, il triangolo HRS è simile al triangolo AJF. Ora ci chiediamo quanto misurerà il segmento AJ – espresso dalla distanza fra il punto J, cioè la prima stazione, ed il punto A, cioè la vetta della

²¹⁶ In realtà è parallela (N.d.T.).

²¹⁷ Unità di misura delle lunghezze pari a circa cm. 104.

montagna.²¹⁸ Otteniamo in tal modo la lunghezza del segmento FJ, dalla similitudine dei due ultimi triangoli deriva necessariamente che il rapporto fra il segmento RH – che rappresenta la distanza fra il primo ed il secondo contrassegno, e il segmento FJ, che è pari a quella nell'altro triangolo, – sarà uguale al rapporto fra il segmento RŞ ed il segmento AJ che è suo omologo. Inoltre, se moltiplichiamo il segmento ŞR per le dimensioni del segmento FJ e dividiamo il prodotto per la porzione di segmento RH, otteniamo proprio la misura del segmento JA. Il triangolo ABJ sarà anche simile al triangolo RQŞ e, inoltre, il rapporto fra il segmento [p. 104] ŞQ ed il segmento JB sarà pari al rapporto fra il segmento RŞ ed il segmento AJ se moltiplichiamo la porzione di segmento QŞ per le dimensioni del segmento JA e dividiamo il prodotto per il segmento RŞ otterremo la dimensione del segmento JB. Se sottraiamo il quadrato del segmento BJ dal quadrato del segmento AJ e estraiamo la radice di quanto resta, il risultato della radice consisterà proprio nel segmento AB che rappresenta l'altezza della montagna, questo che – grazie a Dio – si è ottenuto, è correlato al punto J. Quella che segue è la relativa immagine.²¹⁹

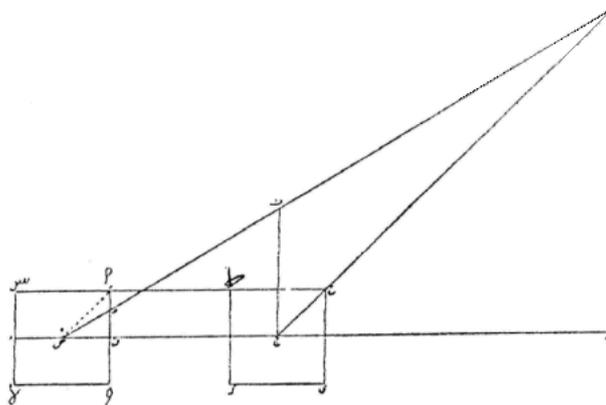


Fig. 12a.
Da: H. Xadivjam

²¹⁸ Traduzione letterale.

²¹⁹ L'immagine in realtà è riportata sulla pagina precedente.

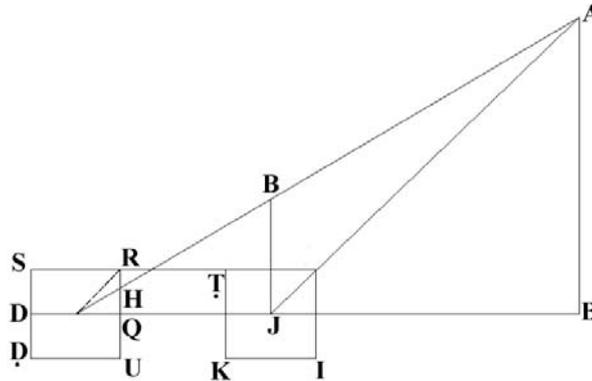


Fig. 12b.

Rielaborazione con trascrizione alfabetica latina

Non è un'operazione difficile aggiungere la distanza compresa fra il centro dell'apparecchio ed il livello di terra all'altezza della montagna che si è ottenuta in tal modo; perciò, con tale procedimento, si perviene al medesimo risultato.

[p. 105] Nello stesso modo è possibile conoscere la distanza fra due persone o fra due montagne; infatti, per tale ragione, sulla lastra dello strumento si riporta un triangolo simile al triangolo formato dalle due rette congiungenti le vette e la retta disegnata fra quelle due vette, successivamente, dopo che sullo strumento è stato riportato questo triangolo, si procede con la misurazione; conoscere la distanza fra due montagne è lampante e chiaro e non comporta alcun dubbio; qualora di due triangoli simili si conoscano due lati dell'uno ed un lato dell'altro, è possibile, infatti, calcolare i lati incogniti.

* * *

Commenti Sezione V

Capitoli 18 – 19

Il primo capitolo include la relazione della costruzione e dell'utilizzo delle livelle a tubo²²⁰ – con le due estremità aperte, e con le due estremità chiuse – in materiale vario – canna, legno, vetro – a braccio di bilancia ed a lastra (triangolare e quadrata). Un nuovo modello, la livella a lastra quadrata con tubo per il traguardo, è inventato da Karajī stesso, il quale specifica le innovazioni apportate agli esemplari più antichi oppure se sta descrivendo un modello di propria invenzione. In tal caso, convalida la funzionalità dello strumento grazie a teoremi di geometria corredati da immagini con abjad (notazione alfabetica), numerate e richiamate nel testo.

²²⁰ Sostanzialmente simile nell'utilizzo a quella descritta da Vitruvio ed a quelle descritte anche nei trattati di agricoltura medioevali, CFR.: IBN AL.AWWĀM, *Op. Cit.* ed altri.

Per quanto concerne le illustrazioni contenute nel testo persiano e quelle del testo di Hyderabad – prima versione in arabo del manoscritto di Karajī, edito a stampa senza commento o note nè aggiunte –, va evidenziato che nella primitiva versione alcune sono capovolte. Specificamente si tratta della livella triangolare, della livella a braccio di bilancia, della livella a lastra a forma quadrata; mentre, le immagini che corredano i teoremi sono simili per forma, notazione ed impaginazione in ambedue le versioni.²²¹

Il secondo successivo capitolo include la dettagliata descrizione di uno strumento topografico concettualmente simile al moderno teodolite progettato da Karajī su basi geometriche. Il suo impiego è riservato alla misurazione di mete lontane dall'osservatore e qualora il topografo voglia – o possa – agire senza l'aiuto di più "assistenti".

²²¹ R. RASHED, "L'optique géométrique", in: R. RASHED (edit), *Histoire des sciences...* cit., vol. I, pp. 293–318.