

Presentazione

Karajī ed il suo trattato

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

Karajī ed il suo trattato

Celebre matematico, sconosciuto ingegnere

Nei testi di storia della matematica islamica di Abū Bakr Moḥammad Ibn al-Hasan Ibn al-Ḥusayn al-Ḥāseb al-Karajī viene evidenziata l'importanza come "calcolatore" in quanto è stato uno degli innovatori principali e dei più noti matematici;⁸⁰ d'altra parte, alle sue opere hanno attinto vari studiosi successivi pur senza specificare la fonte delle loro informazioni,⁸¹ fatto consueto nella Storia della scienza: molte lacune riguardano il passaggio delle idee da un'area geografica all'altra⁸² e le conseguenti connessioni fra studiosi.

Alla fine del secolo scorso, nel momento in cui l'attenzione della critica focalizzava l'avanzamento operato nella matematica grazie all'apporto di indiani e di musulmani,⁸³ lo storico della scienza Franz Woepcke, introducendo la traduzione con commento critico del *Faxrī*,⁸⁴ poneva l'accento sull'autorevole funzione svolta dall'autore – Karajī – in favore dello sviluppo della matematica dell'XI secolo. Il progresso a quel tempo era correlabile all'adozione di nuove notazioni, alla risoluzione di equazioni di grado superiore ed alle operazioni fra esponenti delle equazioni; in questo settore, il contributo di Karajī⁸⁵ è stato

⁸⁰ Un'esauriente analisi dell'ambito entro il quale operarono i traduttori musulmani di matematica e di astronomia sta in ERMANNO HANKEL, *Traduzioni arabe di scritti di matematici greci* cit., pp. 350–354.

⁸¹ In proposito, cfr.: FRANZ WOEPCKE, *Op. Cit.*, soprattutto i paragrafi: *Introduction, Examen du contenu du Fakhri* (pp. 1–5) ed *Emprunts faits par Fibonacci à Alkarkhi* (pp. 24–31).

⁸² Ciò vale, purtroppo, anche per testi recenti di Storia della Matematica che rappresentano studi avanzati e coprono un vasto arco temporale ed un'estesa area geografica; (oltre ai testi già citati) bisogna aggiungere anche: DAVID EUGENE SMITH, *History of Mathematics*, New York, 1951; MORRIS KLINE, *Storia del pensiero matematico*, Torino, 1991, 2 voll., I ediz.: s. l., 1972; GIORGIO TABARRONI, *La Matematica occidentale dopo il Mille*, s.l., s.d..

⁸³ Per quanto riguarda, nello specifico, lo stato delle conoscenze matematiche in Italia, durante l'Ottocento, cfr.: ANGELO MICHELE PIEMONTESE, *Op. Cit.*.

⁸⁴ Così intitolato perché dedicato a Faxr al-Molk (Orgoglio del Regno), protettore di Karajī.

⁸⁵ Sul rapporto fra Occidente e Oriente, per quanto concerne il campo scientifico, cfr. anche: F. WOEPCKE, *Recherches sur l'Histoire des Sciences Mathématiques chez les Orientaux*, in: *Journal Asiatique*, cinquième série, Tome XV, Paris, MDCCCLX, pp. 281–320; CARRA DE VAUX, *Astronomy and Mathematics*, in: *The Legacy of Islam*, (I ed.), SIR THOMAS ARNOLD (Edit.) Oxford, 1931, pp. 336–397; A. J. ARBERRY, *The Legacy of Persia*, Oxford, 1968; JUAN VERNET, *Mathematics, Astronomy, Optics*, in: *The Legacy of Islam* cit., (II ediz.), JOSEPH SCHACHT E C. E. BOSWORTH (Edit.), Oxford, 1974, pp. 460–489.

particolarmente determinante. Tuttavia, malgrado l'interessante premessa, ancora alla metà del secolo scorso si riscontrano assunti e pregiudizi, i quali manifestano la radicata consuetudine ad ignorare quanto non sia espressione culturale del mondo occidentale. Egmont Colerus, per esempio, trattando dello sviluppo della matematica, per l'ambito musulmano, scriveva:

«[...] [I Musulmani] furono matematici di talento, uomini diligenti e animati da vivo interesse. Seguendo la tendenza islamica alla diffusione e al proselitismo, promossero l'insegnamento scolastico, che aumentò d'importanza a causa della loro attività commerciale. Introdussero dovunque la loro cultura, all'occorrenza anche col ferro e col fuoco, e non mancarono di far seguire alle conquiste sanguinose la diffusione della scienza matematica. Ma però, malgrado le loro tendenze pratiche, non erano neppur essi ingegneri, cioè non affrontavano la natura con lo strumento della matematica per metterla al proprio servizio nelle macchine, dopo averle strappato i suoi segreti. In conformità alle loro tendenze magiche, spesso la matematica degli arabi andava a finire negli indovinelli, nella cabalistica e nell'astrologia [...]».⁸⁶

Nelle sue asserzioni Colerus trascurava il contributo dato dai traduttori/elaboratori arabografi Arabi e Persiani allo sviluppo della matematica in campo teorico e la relativa applicazione pratica in meccanismi semoventi, orologi, fontane, bilance idrostatiche ed a barra. Viceversa, allorquando gli storici della scienza orientali scrivono di matematici occidentali, prendono in considerazione esclusivamente gli antecedenti greci e, fra questi, solo i più famosi; ne consegue la carente ricostruzione dello sviluppo della matematica nel suo complesso. Le lacune basilari riguardano il passaggio delle idee da un'area geografica all'altra ed i collegamenti fra gli uomini e gli scritti. Va, altresì, rilevato che gli sviluppi di carattere teorico ed applicativo di solito non vengono riferiti a cenacoli e/o scuole, dove possono essersi formati vari studiosi, né si pone l'accento sui rapporti intercorsi fra studiosi. Tuttora, poi, sono rari gli studi comparati appoggiati su documenti e su testi redatti in lingue diverse dalle europee, soprattutto quando gli idiomi – come l'arabo ed il greco – possono avere subito significativi mutamenti nel grado di conoscenza e di diffusione nel corso del tempo e nelle differenti aree geografico-culturali.

Il superamento dalla matematica greca ed ellenistica poté avvenire grazie agli arabografi, la maggior parte dei quali, indicano le *nisbe* e le *kunye*, erano di provenienza e formazione iranica. Grazie a loro, il Medio Evo si va rilevando quale periodo fra i più significativi per l'assimilazione e per la sintesi – operata

⁸⁶ Cfr.: E. COLERUS, *Piccola storia della matematica da Pitagora a Hilbert*, Giulio Einaudi, 1949, ediz. Italiana della versione tedesca edita nel 1937, pp. 130–131.

fra la matematica alessandrina di origine greca⁸⁷ e la indiana – che vide la sua massima diffusione intorno al Mille, dopo il viaggio di Birūnī (973 – 1050 d. C.) nei luoghi descritti nel *Kitāb al-Hind* (Libro sul'India) dal punto di vista geografico e geomorfologico, dal punto di vista antropologico e dello stato della conoscenza scientifica e tecnica/tecnologica.⁸⁸ Alla compresenza di elementi occidentali e indiani si è soliti attribuire la riforma della scienza matematica cui partecipò anche Karajī, tanto che il periodo in cui egli visse viene definito “età gloriosa di Avicenna e di al-Karkhi”.⁸⁹ L'abilità multiforme del calcolatore ed ingegnere si dichiara nella sezione di topografia del trattato di idraulica, dove sono inseriti e dimostrati vari teoremi corredati da illustrazioni.⁹⁰

Il contatto fra i Musulmani e la matematica di derivazione greca-alessandrina per tradizione viene individuato nell'espugnazione di Alessandria avvenuta nel 641, data alla quale viene riferita la distruzione della famosa Biblioteca, oppure, in alternativa, l'appropriazione di testi spostati altrove (Baġdād) per essere tradotti e studiati. Quest'ultima possibilità appare oggi come la più accettabile alla luce degli esiti di ricerche effettuate relativamente ai contatti ed agli interscambi fra la cultura alessandrina e la musulmana nel campo scientifico, nel campo tecnico e, soprattutto, nell'ambito della letteratura tecnico-scientifica.⁹¹ Il califfo abbasside al-Manṣūr, infatti, aveva trasformato la nuova capitale – Baġdād – in un anticonformista ed attivo centro di interessi matematici.⁹² Nel 766 vi venne portata dall'India un'opera fondamentale di contenuto astronomico-matematico, il *Sindhind* – probabilmente il *Brahmasphuta Siddhānta* od il *Surya Siddhānta* – che verrà tradotto in lingua araba nel 775; poco dopo, nel 780, sarà effettuata anche la versione dal greco del *Tetrabiblos* di Tolomeo.

A Baġdād convennero pure numerosi studiosi dalla Siria, dalla Mesopotamia, dalle regioni nordafricane e vicino-orientali (già dominate dai Romani) e

⁸⁷ Cfr.: OTTO NEUGEBAUER, *The Exact Science in Antiquity*, New York, 1969, II ed.

⁸⁸ Per una delle più recenti biografie su Birūnī, cfr.: ANTONIO PANAINO, *Introduzione*, in: GIUSEPPE BEZZA, *Al-Bīrūnī*, Milano, 1992, pp. 9–22.

⁸⁹ C. BOYER, *Op. Cit.*, p. 284.

⁹⁰ Precisamente: *A proposito delle livelle con le quali si effettua il rilievo topografico; 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, di qualsiasi indicatore visibile, si può determinare la distanza fra due montagne o fra due indicatori visibili e si può livellare il terreno; Informazioni circa la realizzazione di un acquedotto; Sul mantenimento della linearità di gallerie scavate nelle zone asciutte del qanāt e nella sorgente d'acqua; Come scavare pozzi che presentano dei gomiti lungo le gallerie*; cfr.: KARAJI, *Estextrāj* cit., pp. 64–119.

⁹¹ Cfr.: G. FERRIELLO, *Il sapere tecnico-scientifico fra Iran e Occidente* cit.

⁹² Fra i più recenti lavori, nei quali si fa riferimento allo sviluppo delle scienze matematiche - specialmente la meccanica - in ambito islamico, cfr.: ELAHEH KHEIRANDISH, *The Fluctuating fortune of Scholarship: a very late review occasioned by a fallen book*, in *Review Essay Harvard University*, vol. XI, no. 2, 2006, pp. 207–222.

dall'Irān favorendo il sincretismo di studi. Il califfo Al-Mā'mūn – protettore delle scienze matematiche – intorno al 200H/815 d.C. fondò la *Bayt al-ḥikmah* (Casa della Scienza/Sapienza) alla quale furono annessi una biblioteca ed un osservatorio astronomico finanziati dallo Stato. Il cenacolo califfale fu un nucleo di incontro di scienziati e di uomini di cultura, innanzitutto di traduttori. Fra i proseliti annoverava il matematico Moḥammad Mūsā al-X^wārizmī il quale, intorno all'830, compose l'*al-Jabr wa al-muqābāla*. Dalla trascrizione del nome del matematico persiano, come è risaputo, derivarono i termini “algoritmo” e “logaritmo”, dal titolo della sua opera, invece, l'espressione “Algebra”⁹³ la cui finalità pratica venne chiaramente espressa nell'*incipit* del manoscritto originario, fedelmente trascritto nella edizione a stampa in persiano.⁹⁴

La traduzione dei prologhi dei testi di scrittori musulmani è utile per conoscere direttamente il pensiero dell'autore circa l'opera, i relativi contenuti e la eventuale selezione finalizzata degli argomenti, nonché gli obiettivi che egli si proponeva di raggiungere attraverso la compilazione. La presenza della *basmalah* con l'invocazione ad Allāh, per motivi relativi alla religione, in passato ha decretato la sistematica omissione dei prologhi da parte degli studiosi-traduttori – per la massima parte cristiani – creando non poca confusione circa la vera finalità prefissata dall'autore musulmano; ulteriori confusioni possono derivare dalla unione forzata di scritti concepiti in origine separatamente. Di qui la necessità di attingere a testi in lingua, ancorché diffusi in prima traduzione nei primi secoli del nostro millennio, e, successivamente, usati come riferimento dai successivi studiosi. Nel caso dell'*al-Jabr wa al-muqābāla* si traduce dalla versione persiana:

«Oggetto di questo libro è il calcolo in caso di eredità e di possedimenti, di suddivisioni in caso di partecipazioni ereditarie, di prescrizioni governative ed anche nel caso di qualsiasi altra questione relativa a contrattazioni – come, per esempio, la suddivisione dei terreni – le misurazioni [delle portate] fluviali, la topografia e le altre trattazioni di scienze matematiche, tutti casi nei quali è possibile avvalersene.

Mi sono messo a comporre questo testo in buona fede; mi auguro che il contenuto e la sua forma letteraria – con l'aiuto ed i benefici della grandezza divina – trasmettano all'intelletto ed alla buona

⁹³ L'*al-Jabr* è disponibile in una versione latina (*Liber algebrae et almucabola*) priva dell'introduzione, in versione araba e nella versione persiana tradotta da Ḥuseyn Xadivjam e corredata da un'introduzione critica.

⁹⁴ HUSEYN XADIVJAM, *Moḥammad Musā X^wārazmī, Jabr wa muqābālah*, Tehrān 1343 H./ circa 1985.

volontà il valore ed il fondamento lodevole, facendo sì che essi vengano conosciuti.

Il mio successo è affidato a Dio.

*Nella stesura di questo libro – come in tutti i miei sforzi – mi affido a Dio poiché è Lui il creatore del mondo. Prego Dio e ne invoco la benedizione sul Suo Messaggero e sui suoi discendenti [...]».*⁹⁵

Il testo prosegue con l'esame di vari esempi pratici relativi a partecipazioni ereditarie, casi di malattie menomanti la volontà dell'individuo per passare, poi, al computo di portate fluviali e di appezzamenti di terreni.

Ai fini della comprensione della metodologia operativa degli studiosi protoislamici persografi ed arabografi, è opportuno notare che alcune immagini del testo del matematico persiano contengono disegni simili a quelli di testi euclidei, probabilmente per convalidare, con l'analogia degli esercizi, l'esattezza delle risoluzioni ottenute con il nuovo metodo di calcolo per problemi risolti in precedenza con il metodo euclideo acquisito quale riferimento fondamentale e corretto.

Durante il califfato di Harūn al-Rašid⁹⁶ (786–809), i traduttori privilegiavano gli scritti di Ippocrate e di Galeno, successivamente di Aristotele; fu comunque con al-Mā'mūn (813–833) che si incrementò l'interesse verso i manoscritti greci ed accrebbero i trasferimenti di testi nella capitale irachena, dove furono tradotti in arabo, al principio da siriani cristiani. Particolarmente solerti nel trasferimento di manoscritti da Bisanzio a Baġdād furono i fratelli Banū Mūsā' provenienti dalla regione orientale iranica del Xorāsān. I tre – come detto – furono studiosi di teorie tecnico-scientifiche, traduttori di meccanica e costruttori di congegni documentati attraverso numerose illustrazioni autografe.⁹⁷

Durante il periodo formativo islamico, figurano fra i traduttori arabografi più attivi Ḥoneyn b. Iṣak, suo figlio Iṣak b. Ḥoneyn, Ṭābit b. Qorrāh – il quale revisionò le traduzioni di matematica effettuate dai primi due, medici, non matematici –, Abū al-Wafā' al-Buzjāni, gli Ixwān al-Safā', al-Nayrizi, Māša'allāh, Qusṭā b. Luqā al-Ba'albakkī, Abū Ja'far al-Xwāzinī (IX secolo); per citare solo alcuni dei nomi più noti di personaggi vissuti prima di Karajī e noti pure in Occidente. Ṭābit Qorrāh (826/7 – 901) era legato ai Banū Mūsā', dai quali veniva stipendiato per il lavoro di traduttore; fondò a Baġdād una scuola di traduttori dalla lingua greca e dalla siriana. A lui si devono le prime

⁹⁵ Cfr.: X^wĀRAZMĪ, *Op. cit.*, p. 37.

⁹⁶ In Occidente famoso grazie a *Le Mille e una notte* e per essere uno stimato avversario di Carlo Magno.

⁹⁷ Cfr.: DONALD HILL, *The Book of Ingenious Devices (Kitāb al-Ḥiyal)*, Dordrecht–Boston–London, s. d.

trasmissioni di opere di Euclide, di Archimede, di Apollonio, di Pappo il Greco, di Theodosio, di Tolomeo, di Eutocio, di Boezio, i primi sette libri delle *Coniche* di Apollonio, di testi di medicina, alla traduzione dei quali collaborava il figlio Sinān.

Per quanto concerne le matematiche, Ṭābit compose commenti e dimostrazioni alternative del teorema di Pitagora, lavori su segmenti parabolici, una trattazione sui quadrati magici, studi sulle trisezioni di angoli; inoltre, elaborò proprie teorie astronomiche⁹⁸ come *La trepidazione degli equinozi*; dispiegò la discussione su punti fondamentali dell'Astronomia di derivazione greca aprendo la strada alla rivoluzione copernicana.⁹⁹ Notevole per lo studio della statica medioevale islamica è il suo *Kitāb al-Qarastūn* (Libro sulla bilancia), del quale lo studioso Kalil Jaouiche, intorno alla metà anni settanta del Novecento,¹⁰⁰ ha prodotto una versione completa in francese – con accluso studio critico – che, tuttavia, è ancora poco diffusa fra gli storici della scienza.

L'Estrazione delle acque nascoste denota in Karājī l'acquisita assimilazione critica di teorie diffuse intorno al Mille fra studiosi arabi e persiani, nello stesso tempo, vari temi precludono ad importanti originali riforme. Rientra fra questi la disquisizione su “la forma ed il moto della Terra”, tema che si inserisce nel dibattito sui centri di gravità, sulla geomorfologia e sull'astronomia del tempo. In merito al medesimo soggetto, qualche tempo prima, Ṭābit b. Qorrāh aveva specificato:

«Noi principiando l'Astrologia,¹⁰¹ secondo la retta imaginatione, riteniamo che il mondo sia un corpo sferico e solido, il cui centro è quel punto che è nel mezzo de la terra, e dicesi centro de la terra. Intendiamo anco che la terra sia quasi centro del mondo anch'essa, et a comparatione del ampiezza del mondo sia come indiuisibile».¹⁰²

Dello stesso parere era il persiano al-Birūnī (973 – 1048). Tuttavia, pare che già l'indiano Aryabatha (498 d. C.) – riallacciandosi al filosofo greco Aristarco di Samo – avesse affermato che la Terra ruotava attorno al proprio asse.¹⁰³

⁹⁸ Cfr.: C. B. BOYER, *Op. Cit.*, pp. 274–276; E. J. DIJKSTERHUIS, *Op. Cit.*, II, 16, p. 150.

⁹⁹ Cfr.: C. B. BOYER, *Op. Cit.*, p. 276.

¹⁰⁰ K. JAOUICHE, *Le Livre... cit.*; K. JAOUICHE, *La Statique... cit.*

¹⁰¹ A quel tempo, l'Astronomia e l'Astrologia erano considerate un *unicum*.

¹⁰² MORITZ STEINSCHNEIDER, *Vite di Matematici arabi*, tratte da un'opera inedita di Bernardino Baldi, Alcune osservazioni di G. G. Bouchon Brandely, in: *Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche e fisiche*, diretto da B. Boncompagni, anno V, 1872 (copia anastatica, Bologna s.d.), pp. 443; la traduzione è sua.

¹⁰³ Cfr.: C. B. BOYER, *Op. Cit.*, p. 280.

L'elaborazione di temi originati da opere greche dimostra che gli studiosi musulmani non si limitavano a subire l'influenza dei popoli soggiogati, ma elaboravano ulteriori progressi nel campo scientifico; occorrerà, comunque, aspettare del tempo perché l'interesse di qualche studioso-traduttore consentisse di avvicinarsi ad un altro esperto alessandrino, Diofanto¹⁰⁴, il cui ruolo è stato così fondamentale per un'intera branca della scienza matematica: l'Aritmetica.

L'arabografo Moḥammad ben Moḥammad Yahyā ben Isma'īl ben al-'Abbas Abū-'l-Wafā' al-Buzjānī (940 – 998) commentò l'*Algebra* di Xwārizmī e varie altre opere di autori alessandrini. Esperto matematico, si occupava di calcoli in materia fiscale e, secondo l'usanza del tempo, era astronomo/astrologo di fama, tanto da essere chiamato a dirigere l'osservatorio astronomico di Baḡdād assieme ad al-Saḡānī ed Abū Saḥl al-Kuhī originario, quest'ultimo, della regione persiana del Mezāndarān, la stessa di Abū al-Wafā. Fra i contributi più notevoli dati da questo all'Astronomia vi è la scoperta dell'eccentricità dell'orbita lunare, la cosiddetta *aequatio centri*;¹⁰⁵ determinante fu l'apporto alla più ampia diffusione della matematica di derivazione indiana. La trigonometria greca era stata basata sulle corde, la indiana, invece, si fondava essenzialmente sui seni;¹⁰⁶ con Abū al-Wafā' «[...] la trigonometria assume una forma più sistematica in cui vengono dimostrati teoremi come le formule di duplicazione e le formule di bisezione».¹⁰⁷

Basilare fu la traduzione dell'*Arithmetica* di Diofanto (250 d. C.) mediata quasi certamente dall'*Algebra* di Abū Kāmil Šuja' b. 'Alī b. Aslam b. Moḥammad b. Šuja' al-Ḥasib al-Miṣrī. Il testo venne utilizzato da Karajī per «diventare un discepolo arabo di Diofanto».¹⁰⁸ Analogie di interessi fra Abū 'l-Wafā' e Karajī si evidenziano pure in manuali utili alla conversione delle unità di misura in uso presso ispettori del fisco.¹⁰⁹

Karajī opera a cavallo tra il X e l'XI, in un periodo storico in cui la Matematica non era ancora sistematizzata: da una parte c'era la matematica diofantea, priva

¹⁰⁴ Sulla matematica diofantea in ambito islamico, cfr.: ROSHDI RASHED, Analyse combinatoire, analyse numérique, analyse diophantienne et théorie des nombres, in: R. RASHED (edit.), *Histoire des sciences arabes* cit., vol. I, pp. 54–91.

¹⁰⁵ Cfr.: H. HANKEL, *Op. Cit.*, pp. 358–359.

¹⁰⁶ Alcune tavole di seni si trovavano inserite nell'Almagesto, cfr.: C. B. BOYER, *Op. Cit.*, p. 277).

¹⁰⁷ Cfr.: C. B. BOYER, *Op. Cit.*, p. 278.

¹⁰⁸ Cfr.: C. B. BOYER, *Op. Cit.*, p. 279, e riepilogando circa il processo di sintesi operato da Diofanto: «/.../ Contro di essa non sta che una frase ambigua del matematico arabo Alkarchī (rilevata da CANTOR, T. I, p. 770 della 3^a ed.), il quale, dopo avere trovate due radici di un'equazione quadratica, fa cenno alla procedura 'alla maniera di Diofanto'», cfr.: GINO LORIA, *Le Scienze Esatte nell'antica Grecia*, Milano 1914, ristampa anastatica, Modena, 1987, p. 885.

¹⁰⁹ Cfr.: CLAUDE CAHEN, Quelques problèmes économiques et fiscaux de l'Iraq Būyide d'après un Traité de Mathématiques, in: *Les Peuples Musulman*, (a cura di) CLAUDE CAHEN, Damas, 1977, pp. 367–399.

di riferimenti geometrici – quindi, più vicina all'algebra babilonese – che si era occupata della risoluzione esatta di equazioni determinate ed indeterminate; dall'altro lato c'era la matematica di derivazione indiana. A Diofanto si ispira Karajī nel Faxrī. La Matematica indiana, intanto, ricorreva alle misurazioni con la corda, da cui il termine Sulvasutra, le sue finalità di carattere pratico erano connesse alla fondazione dei templi ed alla costruzione di altari.¹¹⁰ Intorno al Mille, l'uso delle cifre¹¹¹ era diffuso. Infatti, nel 622, di solito, si colloca l'adozione di nove cifre rinvenute negli scritti del vescovo siriano Severo Sebokt; questi, offeso dal disprezzo per la cultura "non greca" sottolineò che «v'erano anche altri popoli che avevano qualche conoscenza scientifica» e riferì già del sistema di calcolo indiano effettuato per mezzo di nove segni.¹¹²

Scambi di conoscenze matematiche gli Indiani li avevano avuti precedentemente con Arabi e con Persiani. In India, difatti, venivano usati tre principi fondamentali più antichi – non propri – sebbene impiegati in quella regione per la prima volta assieme: una base numerale decimale; una notazione posizionale; un simbolo diverso per ciascuna delle dieci cifre. Con Brahmagupta (VII secolo d. C.) era comparsa la risoluzione di equazioni di secondo grado con radici negative ed, assieme, l'utilizzo della cifra zero.¹¹³ È stato, altresì, rilevato che il matematico indiano riporta i medesimi esempi di Diofanto; di qui il probabile influsso greco sulla matematica indiana, oppure la comune origine nella matematica babilonese. Intorno al Mille nella notazione si rintracciano tre differenti stadi:

- I. "retorico o primitivo", dove la scrittura dei problemi avviene soltanto attraverso descrizioni a parole
- II. "sincopato o intermedio", nel quale la scrittura delle equazioni adotta già talune abbreviazioni; a questo stadio appartiene la notazione diofantea la quale impiegava già alcune lettere dell'alfabeto latino per sintetizzare incognite e membri delle equazioni
- III. "simbolico o finale", nel quale prevalgono le notazioni simboliche.

¹¹⁰ Fra i contributi più recenti, cfr.: GEORGE GHEVERGHESE JOSEPH, *Geometry of Vedic Altars*, in: AA. VV., *Nexus: Architecture and Mathematics*, (a cura di) Kim Williams, Fucecchio (Firenze), 1996, pp. 97–113.

¹¹¹ Sull'introduzione alle cosiddette cifre arabe si rinvia ai vari studi inseriti nel corso dell'Ottocento in vari numeri del *Journal Asiatique*.

¹¹² Lo zero sarà introdotto più tardi. Sulla diffusione delle cifre cosiddette arabe, si rinvia ai diversi articoli del *Journal Asiatique*; cfr. anche: C. B. BOYER, *Op. Cit.*, p. 250.

¹¹³ Collocata da alcuni storici nel IX secolo.

La vita e le opere di Abū Bakr Moḥammad ibn al-Ḥasan ibn al-Ḥusayn al-Ḥāseb al-Karajī

Le informazioni sulla vita di Abū Bakr Moḥammad Ibn al-Ḥasan Ibn al-Ḥusayn al-Ḥāseb¹¹⁴ al-Karajī sono poche, a lungo sono state persino controverse. Alcune precisazioni effettuate da Giorgio Levi della Vida nei primi decenni del Novecento e le notizie incluse nel capitolo introduttivo della versione persiana de *L'Estrazione delle acque nascoste* permettono, comunque, di definirne senza più alcun dubbio il profilo e la formazione professionale. La data certa della nascita è ignota, tuttavia, essa è collocabile intorno alla metà del X secolo; la data della sua morte viene solitamente indicata fra il 1017 ed il 1029.

Dal trattato di idraulica si apprendono varie notizie dirette, come il nome della città natale di Karaj, situata nel Jabāl persiano, regione montuosa di nord-ovest al confine con la Turchia; si viene a sapere della permanenza a Baġdād al seguito del visir Faxr al-Molk; si conosce l'opportunità avuta in Irāq di continuare – approfondendoli – gli studi di matematica; infine, si ha notizia del ritorno in Irān, dove Karajī compose – o, almeno, ultimò e dedicò – *L'Estrazione delle acque nascoste*, unica sua opera di ingegneria ancora reperibile. Le informazioni acquisite consentono di inserire l'autore del trattato entro un preciso contesto geografico-culturale e di chiarire, nello stesso tempo, frequentazioni di studio e di lavoro con studiosi di prevalente provenienza iranica.

L'errata lettura della *nisba* per l'assenza o l'errata posizione dei diacritici nei manoscritti – كرخي (*Karxi* = di Karx) in luogo di كرجي (*Karajī*, cioè originario di Karaj) –, la combinazione dell'esistenza di un quartiere di Baġdād denominato *Karx* ed il frequente utilizzo dell'arabo – “lingua internazionale” degli studiosi musulmani del tempo al pari del latino per il coevo mondo occidentale – hanno indotto in errore gli studiosi, i quali hanno collocato Karajī nel circuito iracheno. Su di lui, per esempio, si legge:

«*Karkhī al-Abū Bakr Muhammad, called al-Hasib*¹¹⁵ / *the calculator, mathematician († 1019 – 1029) was born in Karkh, a suburb of Baghdad. His two books, al-Kāfī fi al-Hisab (condensed Textbook of Arithmetic) and al-Fakhri (named after the vizier Fakhr al-Mulk to whom it is dedicated) belong to the outstanding*

¹¹⁴ Il qualificativo è traducibile con “calcolatore”.

¹¹⁵ Nel caso di citazioni di testi altrui abbiamo lasciato invariata la trascrizione originaria; per le nostre trascrizioni, invece, viene adottata la convenzione internazionale odierna.

early achievements in this science. Several manuscripts of both have come down to us [...]»,¹¹⁶

benché negli anni Trenta del Novecento Giorgio Levi della Vida avesse già specificato:

«[...] occorre osservare che la nisba al-Karḥi è dovuta ad una falsa lettura [...] la nisba del nostro autore, dunque, si riferisce, anziché ad al-Karḥ, sobborgo di Baḡdād, ad al-Karaġ, città della Persia capitale della provincia di al-Iġārān, a due giornate di marcia da Nihāvand verso Iṣbahān [...]».¹¹⁷

Ciononostante, anche dopo la pubblicazione dell'articolo, è stata mantenuta la specificazione di "arabo". J. Vernet ed A. Catalá, ad esempio, pur considerando l'Irān quale luogo di nascita e vagliando per la prima volta la figura di Karajī sotto il profilo tecnico, dedicano all'*ingeniero árabe Karayī* uno studio in cui scrivono:

«[...] Uno de los personajes más interesantes para el estudio de la evolución de las ideas científicas en tierras del Islam es sin duda ninguna al-Karayī, conforme vamos a ver enseguida [...]. M. Cantor y Rey Pastor y Babini y otros historiadores de la matemática quienes la citan con el nombre de al-Karayī, es decir originario o residente en al barrio de Karj (Bagdad). Fue G. Levi della Vida quien en una nota titulada *Due nuove opere del matematico al-Karġī (al-Karkhī)* estableció claramente que su nisba era Karayī, i. e. originario de Karay, nombre de varias localidades del Yabal/Irán), lectura confirmada por el exhaustivo estudio crítico estadístico realizado por 'Ādil Anbūba en el prólogo francés (p. 7–12) a su edición del *Kitāb al-Badī 'fi-l-ḥisab*. De stos elementos de base, amplificados en algún caso por los bibliógrafos, derivan las noticias que dan Brockelmann, Suter y G. Sarton entre otros [...]. Originario, como hemos dicho, del Irán, residiría una larga temporada en Bagdad donde llegaría en el séquito del gran visir Fajr al-Mulk quien empezó gobernando en nombre del sultán buwayhī Bahā' al-Dawla desde el 401/1010 hasta sua muerte en 407/1016. Karayī alcanzaría cargos importantes – posiblemente ingeniero de caminos, canales y puertos – en la administración de aquél – de aquí el título de visir que se le

¹¹⁶ Cfr.: STEPHEN e NANDY RONART, *Concise Encyclopædia of Arabic Civilization*, 2 Voll., Djambatan, Amsterdam, I Vol., 1959, II vol. 1966; I Vol., p. 284.

¹¹⁷ Cfr.: GIORGIO LEVI DELLA VIDA, Appunti e quesiti di storia letteraria araba, in: *Rivista di Studi Orientali*, Vol. XIV, 1934, pp. 249–283, p. 250.

da en una época en que éste empezaba a depreciarse – y al caer en desgracia su protector regresaría al Yabal el donde dedicó un libro [...].¹¹⁸

Le opere di matematica e di geometria, come spiega lo stesso Karajī, furono composte:

«secondo me lo hanno consentito le forze, e [...] nella misura in cui me lo ha concesso l'essere occupato in faccende continue e il trovarmi tra ostacoli ininterrotti [...]»,¹¹⁹

mentre era in Irāq, dove svolgeva le mansioni di ingegnere di ponti, strade e canali per incarico della Pubblica Amministrazione.

Ad integrare le poche informazioni disponibili sovviene oggi il trattato di ingegneria idraulica, in cui, oltre ai richiami ad esperienze vissute in regioni iraniane ed irachene, emergono la competenza teorica, l'esperienza pratica di cantiere, l'ingegno innovativo che si distingue nella progettazione di livelle a lastra ed a piastra.

Nella prefazione persiana curata dallo studioso Ḥusayn Xadivjam, vengono elencate le opere di Karajī, alcune delle quali erano in forma di manuali utili alla pubblica amministrazione. Fra i lavori più importanti figurano *al-Faxrī* – sulle equazioni differenziali – intitolato al proprio benefattore Abū Ġālib Moḥammad ibn Xalāf¹²⁰ – detto al Faxr al Dīn (Gloria dello Stato), tradotto in francese e commentato criticamente da Franz Woepcke¹²¹ nel 1853; *al-Badī'*, opera complementare della precedente; *al-Kāfī fī 'l-Ḥisāb*,¹²² un compendio di calcolo per la pubblica amministrazione con nozioni di aritmetica, di algebra, di geometria e di catasto. Il lavoro manifesta analogie con un'altra opera di poco antecedente compilata da Abū al-Wafā' al-Buzjānī per essere utilizzata da funzionari pubblici: il *Kitāb al-manazīl*.

Il carattere pratico del *Kāfī* viene espresso specialmente nei capitoli LII e LIII dedicati al calcolo del numero di mattoni occorrenti per un edificio e sulla livellazione del terreno,¹²³ tema, questo, oggetto di un'ampia e documentata discussione nell'ambito del più tardo trattato di ingegneria. Fra i lavori dispersi risultano la *Risālah fī 'l-istiqrā* sull'analisi indeterminata, il *Kitāb nawadīr al-*

¹¹⁸ Cfr.: J. VERNET Y A. CATALÀ, *cit.*, pp. 69–70.

¹¹⁹ G. LEVI DELLA VIDA, *Op. Cit.*, p. 257.

¹²⁰ Detto Faxr al Molk.

¹²¹ Cfr.: FRANZ WOEPCKE, *Extrait du Fakhrī, traité d'Algèbre par Aboū Bekr Mohammed ben Alḥaṣan Alkarkhī*, Paris, MDCCCLIII.

¹²² Relativamente a tale testo, cfr.: ADOLF P. YOUSCHKEVITCH, *Les Mathématiques Arabes (VIIIe - XVe siècle)*, traduction par M. Cazenaze et K. Jaouiche, Paris, Vrin, 1976, pp. 52–65.

¹²³ G. LEVI DELLA VIDA, *Op. Cit.*, p. 259.

aškāl relativo a problemi risolvibili algebricamente; uno scritto di argomento astronomico/astrologico – il *Kitāb al-madjal fi ‘ilm al-nuyūm* – citato da J. Vernet e Y. Català¹²⁴ al momento, non trova riscontro in altri studi, né viene citato nella prefazione di Ḥusayn Xadivjam. In ogni caso, del testo si può ammettere la compilazione considerando l’eterogeneità della preparazione professionale del “calcolatore” persiano e, soprattutto, la stretta analogia fra la misura della terra effettuata con gli strumenti progettati e costruiti da Karajī e “la misura del cielo” ottenuta con l’astrolabio. Il *Kitāb fi-l-Ḥisāb al-Ḥind*¹²⁵ doveva essere, intanto, un testo dedicato al calcolo indiano; il *Kitāb ‘uqud wa al-abniyyah* – stando al titolo arabo “Libro/Trattato sull’arco e sulla costruzione” – dovrebbe avere affrontato, invece, temi specifici relativi alla costruzione.¹²⁶

Il *Kitāb Inbāt al-miyyāh al-khafīyyah*, oggetto del presente lavoro, fu scritto – secondo il costume del tempo – in lingua araba. Il lavoro fu dedicato a Faxr al-Molk dopo il rientro di Karajī da Baḡdād. Esso rappresenta, quasi certamente, l’ultimo lavoro in senso cronologico ed anche il più completo e complesso per la compresenza di molteplici argomenti riferibili al campo filosofico, naturalistico, scientifico, tecnico, costruttivo, legale e, ovviamente, matematico.

Oltre il *Kitāb al-Kāfi fi-l-Ḥisāb* (ciò che è sufficiente per il calcolo) dedicato a problemi fiscali della pubblica amministrazione, due opere sono determinanti per comprendere appieno il suo vasto campo di interesse: i già citati *L’Estrazione delle acque nascoste* ed il *Faxrī*. La prima include dimostrazioni di geometria sulle quali il matematico-ingegnere fonda la costruzione della strumentazione topografica ed evidenzia connessioni con altri studiosi di ottica precedenti o coevi, come l’alessandrino Erone, i persiani Birūnī ed Abū al-Wafā’ al-Buzjānī e l’arabografo Ibn al-Hayṭam; laddove il *Faxrī* è significativo per l’influsso giunto in Occidente grazie alla mediazione di Leonardo Pisano (1180 – circa 1256), i cui lavori contengono non pochi riferimenti alle meno note opere di Karajī, alle quali egli attinse a piene mani, come ha dimostrato Franz Woepcke, già intorno alla metà dell’Ottocento. Lo storico della scienza nel 1853 ha dedicato al Faxrī ampi commenti critici densi di riferimenti e di confronti da un lato con la matematica diofantea, dall’altro con le “citazioni”

¹²⁴ J. VERNET Y A. CATALÀ, *Op. Cit.*, p. 71.

¹²⁵ Per lungo tempo gli Storici della Matematica hanno ritenuto che Karajī non conoscesse la matematica di derivazione indiana, dello stesso parere: GEORGE SARTON, *Introduction to the History of Science*, Vol. I., New York, 1975, p. 696.

Giorgio Levi della Vida nel 1934 aveva fatto rilevare l’inesattezza basandosi su di un libro di Karajī: il *Kitāb fi-l-Ḥisāb al-Ḥind* (Libro/Trattato sul calcolo indiano).

¹²⁶ Citato talvolta come *Kitāb ‘uqud al-abniyyah* oppure come *Kitāb ‘uqud wa al-abniyya*; alcuni affermano che su esso si basò la costruzione della cupola del mausoleo di Öljeytu Xodābande a Sultāniye.

presenti nelle opere di Leonardo Pisano accolte in Occidente come novità nel XIII secolo, a distanza di circa due secoli da Karajī. Fra le due opere – il libro di Algebra e il Trattato di ingegneria – esistono pure analogie di tipo linguistico e stilistico. Il *Faxrī*, per esempio, è raggruppabile in due ampie parti – per complessive cinque sezioni – oltre a due aggiunte¹²⁷ così interpretate dal traduttore:

«La première partie contient la théorie du calcul algébrique, de l'algèbre déterminée et de l'algèbre indéterminée. La seconde partie est formée par un recueil de problèmes algébriques.

La première partie se compose d'une suite de chapitres que j'ai numérotés, afin de pouvoir les citer plus facilement [...]».¹²⁸

Significative sono le analogie stilistiche; nella traduzione francese del *Faxrī*, si legge:

«AU NOM DU DIEU CLEMENT ET MISERICORDIEUX!

Abou Beqr Mohammed Alhaçan Alkarkhi, le calculateur (que Dieu soit miséricordieux envers lui!), dit: "J'ai trouvé que le calcul a pour objet toutes les espèces de détermination des inconnues au moyen des connues, et j'ai remarqué que la plus claire des règles et le plus évident des moyens pour cet effet est l'art de l'algèbre, à cause de sa puissance et de l'universalité avec laquelle il s'étend sur les variétés de tous les problèmes du calcul. J'ai vu que les ouvrages composés sur cet art ne contenaient qu'incomplètement ce dont on a besoin en fait de connaissances élémentaires; qu'ils étaient insuffisants par rapport aux théories auxiliaires nécessaires à l'étude de ses doctrines spéciales, et que leurs auteurs avaient négligé l'explication de ses théorèmes qui conduisent au plus haut degré (de savoir dans cet art) et permettent d'arriver à la perfection.

[...] Mais je fus empêché d'accomplir ce projet par les obstacles qu'y opposaient une époque pleine d'adversités et les malheurs de périodes désastreuses, ainsi que la terreur, la violence et la tyrannie qui frappaient tous les hommes, jusqu'à ce que Dieu, qu'il soit béni et exalté! envoyât à leur aide notre protecteur, le vizir, le seigneur illustre, le parfait dans le gouvernement, le vizir des vizirs, revêtu des deux autorités, Aboū Ghālib, l'affranchi du commandeur des croyants, que Dieu prolonge son existence! Dieu

¹²⁷ Cfr. F. WOEPCKE, *Op. cit.*, Table des matières, p. VIII.

¹²⁸ Cfr.: F. WOEPCKE, *Op. cit.*, p. 5.

rendit les hommes heureux par l'excellence de son administration, et, pendant la durée bienheureuse de ses jours, leur accords, au plus haut degré, tout ce qu'ils désiraient en fait de justice, de sécurité, d'abondance et de bien [...]»;¹²⁹

e nel trattato di idraulica:

«Nel nome di Allah Clemente e Misericordioso e col suo aiuto!

Sia Egli ringraziato per la prosperità divina e sia lodato Moḥammad, il primo dei Suoi seguaci, latore del suo messaggio di promesse e, talvolta, di minacce, trasmetta egli i saluti alla stirpe degli eletti.

Moḥammad ben Ḥasan ha detto:

Quando mi trovavo in Irāq e vedevo che la gente di quelle contrade è amante del sapere piccolo e grande, mi resi conto che amano e celebrano la scienza e la gente di scienza; mentre ero lì mi misi a scrivere di Matematica (ḥisāb) e di Geometria (ḥandasa).

Poi, ritornato nel Jābal, vennero meno e non si verificarono più i soggetti che in Irāq mi avevano indotto a comporre. La fiamma del desiderio ardente di comporre si affievolì ed il talento teso alla composizione si avvizzì fino a che Dio beneficò il territorio e la gente del Jābal grazie all'incontro con Moulānā "il Primo Ministro, il Discendente di Maometto, il più glorioso Vincitore e Patrono Benefattore Abū Ġānim Ma'ruf ben Moḥammad".

Che Iddio gli conceda gloria e potere saldo, elevi a grandezza il suo rango, dovunque si innalzi il suo stendardo assista i suoi devoti ed annienti i nemici suoi vicini e lontani. A coloro i quali gli vogliono male dia la benedizione della giusta condanna sua; lo assista con la potenza del governo, nella luce della perspicacia e della profonda considerazione, il destino e la quota parte di generosità siano copiosi, la vendetta e la protezione abbiano egual misura, il tumulto della richiesta si faccia da parte fin che dura il tempo della sua prosperità; gli concedano doni la fede del vincolo e della protezione; la sua magnanimità aumenti la durata della vita sua nella schiera di coloro i quali lo lodano.

Quindi, mi sono messo a comporre questo testo affinché esso sia utile a dimostrare il metodo per l'estrazione delle acque nascoste e mi sono avvicinato ad esso. Poi ho rivisto alcuni antichi testi, ma li

¹²⁹ Cfr.: F. WOEPCKE, *Op. cit.*, pp. 45 - 46.

*ho trovati inutili e manchevoli allo scopo. Ho pregato, pertanto, Dio che accresca il suo dominio ed il livello affinché il suo insegnamento penetri in Oriente e in Occidente e la gente del mondo sia immersa nella prosperità e nella giustizia e la sua sfavillante fortuna sia festeggiata nelle migliori vesti; l'insegna della sua prosperità resti lontana da ogni sventura, le antiche opere siano vivificate e le bandiere ribaltate della preminenza vengano spiegate; nel raggio della sua giustizia siano eliminate la paura e la sua tirannia. Per amore e per assistenza divini [...]».*¹³⁰

Il contributo di Karajī alla matematica viene evidenziato nei progressi nel calcolo e nella risoluzione di equazioni di grado superiore al primo. Pur ispirandosi all'*Arithmetica* di Diofanto, nel *Faxrī* lo studioso opera con radici superiori al quadrato¹³¹ e risolve, per primo, equazioni nella forma $ax^{2n} + bxn = c$ abbandonando la restrizione diofantea di considerare esclusivamente radici positive. È stato precisato in proposito:

*«Fu proprio in questa direzione, ossia verso la soluzione algebrica (in termini di radicali) di equazioni di grado superiore al secondo, che era destinata a svilupparsi la matematica del Rinascimento».*¹³²

Un'altra innovazione è la sommazione in serie, per la quale il nostro autore espose diversi teoremi.¹³³ Alcune dimostrazioni sono incluse nel trattato *L'Estrazione delle acque nascoste*, a riprova del corretto funzionamento delle livelle. Nello stesso tempo, le livelle con traguardo a tubo avvalorano la familiarità di Karajī con l'Astronomia. D'altra parte, egli viene collocato da Hermann Hankel in diversi ambiti: fra i matematici e gli astronomi dei secoli X e XI, fra gli operatori di Aritmetica elementare e dell'analisi indeterminata; di contro, non viene inserito fra gli studiosi di Geometria e fra gli operatori di cantiere. Hankel, però, vissuto nell'Ottocento, non poteva conoscere *L'Estrazione delle acque nascoste*, opera riscoperta solo di recente e che può essere considerata la più complessa e completa, compilata al termine di una vita dedicata all'arricchimento scientifico-culturale e pratico-formativo in settori diversificati eppure complementari.

¹³⁰ Cfr.: KARAJĪ, *Estextrāj* cit., pp. 1–2.

¹³¹ Cfr.: H. HANKEL, *Op. Cit.*, p. 378.

¹³² Cfr.: H. HANKEL, *Op. Cit.*, p. 382; C. B. BOYER, *Op. Cit.*, p. 279; A. AL-DAFFA', *Op. Cit.*, p. 455.

¹³³ Già presente in Archimede, ma non dimostrata, cfr. HANKEL, *Op. Cit.*, p. 382.

La ragione del trattato: i *qanāt* (acquedotti persiani)

Caratteristici del sistema di distribuzione idrica dell'antico Irān erano i *qanāt* (o *kāriz*), una delle realizzazioni più straordinarie dell'ingegneria idraulica ed una delle più grandi opere dell'uomo di tutti i tempi. Benché scarsamente visibili – essendo i loro percorsi sotterranei, a parte le imboccature dei pozzi di areazione e le prese d'acqua –, essi costituivano una secolare rete idrica, la cui lunghezza può essere stimata in migliaia di chilometri, che copriva – e tuttora in buona parte copre – l'intera superficie dell'altopiano iranico assicurandone lo svolgimento delle vitali operazioni agricole e garantendo possibilità di esistenza agli insediamenti umani in ambiti distanti dai grandi fiumi. *Qanāt* ancora funzionanti, o loro frammenti, oggi si possono rintracciare in luoghi notevolmente distanti dall'altopiano iranico toccati dalla dominazione islamica. Su questo particolare tipo di costruzione non mancano oggi numerosi contributi di specialisti, sia persiani, sia occidentali.¹³⁴

Captata l'acqua da una falda freatica, attraverso un sistema di gallerie realizzate in modo che la pendenza della loro base fosse pressoché orizzontale, essa veniva trasportata a distanze considerevoli per essere successivamente distribuita in condotte che arrivavano a villaggi ed abitazioni, oppure veniva convogliata in canali a pelo libero più idonei all'irrigazione dei campi. Pozzi di aerazione erano distribuiti a distanze costanti lungo i rami del *qanāt* per evitare colpi di ariete per agevolare il deflusso idrico; essi, inoltre, consentivano anche di attingere dalla riserva lungo tutto il percorso.

Le parti fondamentali del *qanāt* sono:

- *gomāne*, pozzo di saggio;
- *mādar cāh*, pozzo di origine, cioè il pozzo principale più prossimo alla falda freatica;

¹³⁴ Una bibliografia, ripartita, fra l'altro, in testi di autori orientali e testi di autori occidentali, è in: MANSUR SEYYED SAJĀDĪ, *Qanāt/Kāriz, storia, tecnica costruttiva ed evoluzione*, Tehrān, 1982; del testo sono disponibili la versione persiana e la italiana. Altri lavori citati in questo studio relativamente all'argomento *Qanāt* sono: Kanāt, in: *Encyclopédie de l'Islam*, Paris, 1975, II ediz., vol. IV, pp. 551–556; R.J. FORBES, *Op. Cit.*, vol. I; HASSAN AND HILL, *Op. Cit.*; Āb in: *Encyclopædia of Irān*, London–Boston–Hemley, 1985, vol. I. I problemi legali connessi alla ripartizione delle acque in Persia sono stati affrontati in particolare nel testo: ANN. K. LAMBTON, *Landlord and Peasant in Persia, Study of Land tenure and Land Revenue Administration*, Oxford, 1969, II ediz., (I ediz. 1953).

Per quanto concerne la presenza di vari *qanāt* in Italia, ed in particolare nella Sicilia musulmana, cfr.: PIETRO TODARO, *Il sottosuolo di Palermo*, Palermo, 1988.

Qanāt sono stati individuati pure in alcune aree campane, cfr.: DOMENICO CAPOLONGO, L'Acquedotto medievale di Roccarainola, biotopo di fauna troglodila nel napoletano, in: *Bollettino della Società Entomologica italiana*, vol. XCVII, n°3–4, aprile 1967; ed ancora: D. CAPOLONGO, Ricerche nei *qanāt* dell'Italia in: *Bollettino della Società Entomologica italiana*, vol. CIV vol., n° 4/5, maggio 1972.

- *mile*, pozzi verticali utilizzati per l'evacuazione della terra di scavo delle gallerie e per l'areazione delle stesse;
- *mazhar*, luogo di affioramento dell'acqua, situato in genere in prossimità di un villaggio di un campo agricolo; la sua pendenza era stabilita in rapporto alla profondità del *mādar cāh* e del *gomāne*;
- *majrā*, galleria, detta anche *piškār* o *naqb* nella quale l'acqua scorreva dal *mādar cāh* al *mazhar*;
- *harhanj*, canale di irrigazione, trasportava l'acqua dal *mazhar* al campo quando la distanza fra questo ed il villaggio era elevata.¹³⁵

La logica del sistema di captazione di una falda freatica – trasportata successivamente in galleria anche decine e decine di chilometri – richiedeva padronanza tecnica, conoscenza e pratica per risolvere problemi relativi alla geologia, alle tecniche di scavo, alla topografia, all'accurato uso di materiali da costruzione; indispensabile era anche la perizia in campo legale.

La realizzazione dell'acquedotto reclamava maestria nel *moqanni* – il muratore specializzato nella costruzione di *qanāt* –, il quale doveva sapere effettuare continue varianti e adattamenti degli scavi in corso d'opera. Una solida esperienza pratica doveva coniugarsi ad una raffinata preparazione teorica, onde permettergli di adottare le misure dettate dalla comparsa di ogni imprevista difficoltà come ostacoli sotterranei, franosità del terreno oppure presenza di umidità eccessiva.

Il riferimento basilare tecnicamente completo ed il più antico che risulti oggi noto per la costruzione di acquedotti sotterranei persiani è il trattato di Karajī. In esso l'autore non si limita ad affrontare problemi tecnico-pratici, ma suggerisce come risolvere problemi di diversa natura non senza avere prima dissertato su elementi di filosofia naturalistica e sulla stessa concezione meccanicistica del mondo.

Primarie sono le argomentazioni di ordine giuridico, laddove l'autore affronta vari problemi connessi alla fissazione dei limiti degli acquedotti sotterranei e della fascia di rispetto (*ḥarim*).

Di seguito, il tecnico suggerisce come superare ostacoli sotterranei imprevisti ed analizza probabili difficoltà che possono emergere durante la direzione dei lavori.

Particolare attenzione viene riservata alle modalità esecutive dei livellamenti resi possibili dall'utilizzo di strumenti descritti in dettaglio, accompagnati da informazioni sui materiali e sulle loro dimensioni e corredati di teoremi che convalidano la bontà delle misurazioni.

¹³⁵ Cfr: SEYYED MANSUR SEYYED SAJJĀDĪ, *Qanāt/Kāriz*, cit., pp.66–83, versione italiana.

L'essenziale importanza del *qanāt/kāriz* per la vita degli abitanti dell'altopiano viene posta in evidenza dal sopravvivere di arcaiche pratiche magiche, ancora ai giorni nostri. In proposito si legge:

*«In alcuni villaggi iraniani sussiste la credenza che vi siano dei qanāt maschi e dei qanāt femmina. Bisogna, dunque, accoppiare i maschi con le femmine e viceversa. Tale credenza affonda le sue radici nella ricerca delle cause dell'insufficienza idrica, soprattutto negli anni particolarmente torridi. La cerimonia è quella consueta per tutti i matrimoni tradizionali, con l'unica eccezione che la donna, indiscriminatamente in tutti i villaggi, deve essere vedova. Şafinejād illustra le varie cerimonie praticate in diversi villaggi iraniani, nei quali si sia verificata una diminuzione della portata idrica del qanāt. In un villaggio era morta la Signora Māhtābān, moglie del qanāt, ed allora i contadini decisero di trovargli una nuova sposa. Gli anziani del villaggio, dopo accurate ricerche, scelsero la nuova sposa. Allora, di nascosto, andarono a casa della donna e, per mezzo di una procura da parte del qanāt, lessero gli articoli del codice civile concernenti il matrimonio, alla presenza della donna. La mattina dopo, ella, di nascosto, si recò al qanāt, si spogliò e si immerse nelle sue acque. La tradizione vuole che ella debba ripetere tale cerimonia ogni settimana o mese. In inverno le è consentito di bagnarsi solo le mani e la faccia. Al momento della celebrazione del matrimonio, alla sposa vengono donati 300 kg. di grano ed in seguito la gente del villaggio deve tassarsi, mentre al momento del raccolto ogni contadino le deve 15 – 30 kg. di grano [...]».*¹³⁶

¹³⁶ Cfr.: S. M. S. SAJJĀDĪ, *Op. Cit.*, pp. 123–124, versione italiana.

L'Estrazione delle acque nascoste: il contenuto e la sua organizzazione

Del trattato *L'Estrazione delle acque nascoste* è disponibile un manoscritto – da cui è stata tratta una stampa nel 1359 H./1940–1 – conservato nella biblioteca Âsafiyah di Hyderabâd¹³⁷; un'altra copia manoscritta, secondo Aly Mazâheri,¹³⁸ dovrebbe essere in Egitto. Ad esse vanno aggiunte la versione persiana edita nel 1345/1966-7 da Ḥusayn Xadivjam – corredata da un'introduzione critica contenente l'elenco completo dei lavori di Karajî – e la versione francese effettuata da Aly Mazaheri nel 1973. Nella prefazione di questo testo si accenna ad un altro libro in persiano degli anni Settanta, del quale, però, non si riesce a trovare traccia.¹³⁹ La versione persiana rispetto alla francese è più fedele e formalmente corretta, soprattutto negli argomenti di contenuto tecnico; inoltre, le sue immagini coincidono con il manoscritto di Hyderabâd.¹⁴⁰ Quelle della versione europea ne differiscono in alcune notazioni alfabetiche ed in qualche particolare.

Estextraj-e ābhā-ye penhānī nella versione persiana di Ḥ. Xadivjam – utilizzata per la traduzione¹⁴¹ – consta di 127 pagine con accluse figure esplicative di strumenti topografici, di procedimenti geometrico-grafici per il tracciamento di camminamenti in galleria e di dimostrazioni.

Le illustrazioni – relative a livelle e ai relativi teoremi – sono concentrate nell'ultima parte del testo; esse sono numerate e sono dotate di *abjad*, cioè la notazione con lettere dell'alfabeto persiano/arabo.

Il contenuto del trattato è così ripartito¹⁴² ed intitolato dall'autore:

¹³⁷ Secondo Brockelmann (S. II, 390) classificato al Catal. I, 197, N° 128; da tale manoscritto deriva direttamente la copia a stampa che viene utilizzata per un confronto di massima con la versione persiana: ABU BAKR MOḤAMMAD BEN AL-ḤASAN AL-ḤĀSEB AL-KARXI, *Ketâb Inbât al-miyyâh al-Xafiyah*, Hyderabâd, 1359 H. / 1940–1.

¹³⁸ KARAGI (MOHAMMAD AL), *La Civilisation des Eaux Cachées, Traité de l'Exploitation des eaux souterraines composé en 1017 A. D., Texte établi, traduit et commenté par Aly Mazaheri*, Nice, 1973, pp. 1–2. L'autore, nell'introduzione, afferma di essersi basato sulla versione del Cairo che mette a disposizione degli studiosi che volessero approfondire lo studio; tuttavia, nonostante le ripetute richieste avanzate in tal senso, non abbiamo mai ricevuto alcuna risposta.

¹³⁹ Senza esito sono state le ricerche effettuate anche direttamente presso l'Istituto di Nizza.

¹⁴⁰ Il testo arabo, che deriva dal manoscritto di Hyderabâd, consta di 74 pagine, incluso l'indice analitico e i disegni.

¹⁴¹ È stato effettuato un controllo con l'edizione in lingua araba di Hyderabâd.

¹⁴² Per semplificare i riferimenti ai temi affrontati nel trattato, il contenuto è stato suddiviso in sezioni tenendo presente l'affinità e la sequenza degli argomenti. Fra parentesi quadre è riportato il numero identificativo dei capitoli e dei paragrafi attribuiti al testo per potere più facilmente procedere con i collegamenti e col commento critico; fra parentesi tonde sono state inserite le annotazioni e le specificazioni dell'autore in persona.

Introduzione al testo	[1]
L'aspetto della Terra	[2]
A proposito delle acque sotterranee	[3]
Descrizione delle montagne e dei terreni che rivelano la presenza d'acqua	[4]
Descrizione delle montagne e delle rocce che rivelano presenza d'acqua	[5]
(capitolo) Sui vari tipi di acqua e sulla differenza di gusto	[6]
Il metodo per discernere le acque pesanti, leggere, diluite, dense, dolciastre e indigeste	[7]
I metodi per correggere le acque inquinate	[8]
(capitolo) A proposito delle stagioni dell'anno	[9]
(capitolo) Dissertazione sui terreni	[10]
(capitolo) Argomenti di vario contenuto	[11.1-11.5]
(capitolo) Distanza degale di pozzi e di acquedotti secondo il diritto religioso	[12]
(altro capitolo) A proposito dell' <i>ḥarim</i> dei <i>qanāt</i>	[13]
(altro capitolo) Sulla fascia di rispetto	[14]
(capitolo) Sulla soluzione dei problemi che impediscono lo scavo	[15]
(capitolo e argomento)	[16]
(capitolo) L'adduzione idrica a mazzo di tubature in terracotta (<i>tanbuše</i>)	[17]
A proposito della pasta di calce usata nella saldatura dei <i>tanbuše</i>	[17.1]
Il passaggio dell'acqua in terreni permeabili senza l'impiego delle tubature di argilla	[17.2]
(capitolo) A proposito delle livelle con le quali si effettua il rilievo topografico	[18]
Sul rilievo eseguito con queste livelle	[18.1]
Alcune livelle inventate da me	[18.2]
(capitolo) Descrizione di uno strumento grazie al quale è possibile conoscere l'altezza delle montagne ...	[19]
(capitolo) Informazioni circa la realizzazione dell'acquedotto	[20]
(capitolo) Sul mantenimento della linearità di gallerie scavate nelle zone asciutte del <i>qanāt</i> e nella sorgente d'acqua	[21]
(capitolo) Come scavare pozzi che presentano dei gomiti lungo le gallerie	[22]
(capitolo) Come proteggere l'acquedotto dalla distruzione	[23]
(capitolo) Sulla rimessa in esercizio di un acquedotto	[24]
(capitolo) A proposito della consegna del lavoro da parte del <i>moqanni</i> ¹⁴³ <i>ḥamdala</i> ¹⁴⁴	[25]

Considerando le modalità dello svolgimento degli argomenti, il trattato può essere suddiviso in sette diverse sezioni omogenee:

¹⁴³ Operaio specializzato nella costruzione di acquedotti sotterranei.

¹⁴⁴ Ringraziamento e lode ad Allāh espressi dagli scrittori musulmani alla fine di un testo.

- I SEZIONE: Introduzione con la *basmala*, dedica dell'opera al visir di Baġdād Abū Ġanim Ma'rif b. Moḥammad, dichiarazione dell'intento didascalico del trattato;
- II SEZIONE: (Capitoli 2 – 11) argomenti di contenuto vario ma riferibile, comunque, alle teorie filosofico-scientifiche in atto già nel mondo greco e romano (Talete, Anassimandro, Platone, Aristotele, Lucrezio, Seneca, Plinio il Vecchio, Ovidio, ecc.) e musulmano (Birūnī, Avicenna, al-K^warāzmī, ecc.);
- III SEZIONE: (Capitoli 12 – 14) trattazione di argomenti legali connessi al diritto canonico del quale Karajī richiama alcune sentenze dei maggiori giuristi musulmani del suo tempo e anteriori;
- IV SEZIONE: (Capitoli 15 – 17) temi a carattere tecnico-ingegneristico;
- V SEZIONE: (Capitoli XVIII – XIX) il rilievo topografico unitamente a dimostrazioni di teoremi che ne sono il fondamento; l'autore approfondisce la costruzione degli strumenti, il funzionamento e la validità delle misurazioni effettuate con i vari modelli distinti in livelli preesistenti, livelli adattate e nuove livelli;
- VI SEZIONE: (capitoli XX – XXIV) introduzione di problemi tecnico-pratici risolvibili con l'applicazione di regole matematiche oltre che con la perizia del costruttore;
- VII SEZIONE: (Capitolo XXV) Consigli pratici al Direttore dei Lavori, autocritica, *ḥamdala*.

Contatti culturali fra occidente ed oriente nel trattato di Karajī

L'appartenenza di *L'Estrazione delle acque nascoste* al genere trattatistico consente di ampliare il dibattito intorno ai veicoli delle idee tecnico-scientifiche all'interno ed all'esterno del mondo islamico evidenziando possibili influenze ed interferenze in campo tecnico – oltre che artistico – intercorse fra l'Oriente e l'Occidente, a partire dall'antichità.

Ricoperta a Baġdād la carica di ingegnere di ponti strade e canali al seguito del visir Faxr al-Molk, rientrato a Karaj, ¹⁴⁵ sua città natale, l'*ḥāseb* (matematico) Karajī compose – secondo informazioni autobiografiche contenute nella introduzione – *L'Estrazione delle acque nascoste* per tramandare ad altri tecnici informazioni acquisite attraverso la pratica e la lettura di «[...] più antichi testi [...] trovati manchevoli ed inutili allo scopo [...]».¹⁴⁶

L'autore analizza e sviluppa nei differenti aspetti la questione dell'approvvigionamento idrico e della ripartizione dell'acqua, esamina

¹⁴⁵ Nel Jabāl iraniano.

¹⁴⁶ Cfr. *Estextrāj* cit., p. 1.

problemi da affrontare durante la costruzione degli acquedotti, informa il lettore sugli strumenti utilizzati nel cantiere, sui materiali naturali e sulle malte usati, prospetta specifiche soluzioni adottabili in varie circostanze ed in presenza di eventuali imprevisti dinanzi ai quali l'operatore non deve essere colto impreparato.

In linea con la cultura enciclopedica del suo tempo, Karajī non omette di riflettere sull'aspetto scientifico-filosofico e naturalistico dell'elemento acqua, sulla sua presenza sulla superficie e dentro le viscere della Terra, sulle relazioni intercorrenti con la Geologia, la Botanica e con l'Astronomia. Il trattato, pertanto, diventa un utile strumento per ricavare informazioni sul campo delle costruzioni e sul più generale ambito culturale islamico. Le puntuali precisazioni su innovazioni apportate alla strumentazione tecnica consentono, inoltre, di tratteggiare il progresso che, intorno al Mille, coinvolge il campo della costruzione grazie all'avanzamento nel campo delle matematiche.

Il retroterra culturale cui l'autore persiano-arabografo attinge è prevalentemente il greco, benché nella sua opera non manchino riferimenti a quello romano, all'esperienza diretta e alle tradizioni irachene e iraniane.

Alcune teorie risultano particolarmente interessanti per la loro novità, oltre che per la chiarezza dell'esposizione e per la profondità dei contenuti. Rientrano fra questi il concetto di "propensione verso il centro" o forza di gravità, le asserzioni sulla teoria dei terremoti¹⁴⁷ giustificati con i movimenti di grandi masse idriche e con la formazione delle sorgenti d'acqua; non mancano, inoltre, osservazioni sui diversi materiali.¹⁴⁸

Vari soggetti di natura fisica e tecnica sono simili a quelli affrontati nel *De Architectura* da Marco Vitruvio Pollione;¹⁴⁹ mentre, l'ipotesi della diffusione del testo vitruviano in ambito islamico intriga lo studioso moderno; tuttavia, l'assenza di citazioni dirette induce a fermarsi alle ipotesi sulla conoscenza del trattato romano da parte di Karajī.

L'Estrazione delle acque nascoste non è il primo trattato tecnico-scientifico scritto da uno studioso musulmano protomusulmano,¹⁵⁰ benché sia possibile riconoscere in esso una particolare importanza per i contenuti fondati sempre su disquisizioni analitiche di carattere matematico-speculativo, per le innovazioni

¹⁴⁷ [...] A proposito di questo argomento occorre dire che, all'interno della Terra, esistono dei moti perpetui. Qualcuno di questi movimenti è la causa della caduta e del crollo di edifici e della deviazione degli oggetti dalla posizione verticale [...], cfr.: *Estexrāj* cit., pp.12-13.

¹⁴⁸ I materiali analizzati da Karajī sono usati nella costruzione degli acquedotti: mattoni, pietre e malte idrauliche; per queste ultime, in particolare, l'autore fornisce numerose informazioni le quali contribuiscono a rendere ancora più attuale il trattato persiano.

¹⁴⁹ La questione è stata affrontata in: G. FERRIELLO, *Problemi di Storia della scienza* cit..

¹⁵⁰ A questa considerazione si può pervenire analizzando sia la forma, sia il contenuto che appare già sistematizzato e preordinato secondo un ben preciso disegno dell'autore.

riguardanti il campo della matematiche, per la presenza di capitoli dedicati al diritto e per l'arco temporale in cui va ad inserirsi. Intorno al Mille, infatti, l'Occidente latino non registrava nuovi contributi dopo la compilazione dell'opera di M. Vitruvio Pollione; al contrario, gli studiosi musulmani, nel medesimo spazio di tempo, acquisivano al proprio patrimonio di conoscenze i testi antichi arricchendoli di nuovi contributi grazie all'avanzamento delle conoscenze in campo matematico ed alla correlazione istituita fra il campo tecnico e quello scientifico, originale innovazione dello studioso musulmano medievale.

Somiglianze con testi antichi inducono ad ammettere che i trattati tecnici non dovevano essere estranei agli studiosi musulmani. Analogie con il testo di Karajī, per esempio, si rinvengono in elaborati di autori arabi e persiani medioevali¹⁵¹ che i critici hanno analizzato per quanto concerne lo sviluppo dell'agricoltura del Vicino Oriente trascurando, comunque, i riferimenti che riguardano il campo costruttivo. Toufik Fahd, per esempio, riportando brani del *Kitāb al-Filāḥa an-Nabaṭiyya* (Libro/Trattato di Agricoltura nabatea), scritto da Ibn Waḥṣiyya nel IX secolo, fra gli argomenti relativi all'idrologia include contenuti che si ritrovano simili nel lavoro di Karajī. L'esposizione e la successione di vari temi suggeriscono considerazioni anche sullo schema letterario adottato, oltre che sul grado di avanzamento raggiunto negli scritti di soggetto tecnico-scientifico che si esprime nel nostro autore nel ricorso alle scienze matematiche.

Nel trattato di Karajī sono presenti rimandi alla cultura greco-romana ed a quella persiana-araba; le principali innovazioni, intanto, riguardano l'inserimento del diritto islamico e della topografia. Essi, di conseguenza, comportarono la parallela variazione nel testo scritto, che si arricchisce di capitoli assenti nei trattati occidentali e nei testi di filosofia della natura. Del resto, Karajī è uno dei più importanti e noti matematici musulmani; a lungo sconosciuto, invece è rimasto il suo ruolo di tecnico.

Il contenuto di *L'Estrazione delle acque nascoste* consente di approfondire l'evoluzione stilistica e dei contenuti di testi enciclopedici elaborati in ambito islamico durante il Medio Evo,¹⁵² specialmente in ambiente *ṣi'ita*, più propenso ad estendere alla speculazione filosofica il principio del *ta'wīl* (ricerca delle origini), che consentiva di avvicinarsi alla filosofia quale strumento dell'azione divina nel mondo e sistema per giungere a Dio.¹⁵³

L'opera di Karajī contribuisce oggi a dare risposta a quesiti sulla trasmissione del sapere classico ed ellenistico nel vicino Oriente; essa può perfino essere

¹⁵¹ Per i contenuti, cfr.: TOUFIC FAHD, *Un Traité des eaux dans al-Filāḥa an-Nabaṭiyya* cit..

¹⁵² G. FERRIELLO, *La meccanica e la statica nelle enciclopedie* cit..

¹⁵³ Cfr.: CARMELA BAFFIONI, *Valutazione, utilizzazione e sviluppi* cit., pp. 23–35.

sottoposta ad esami diacronici: inquadrata nel passato, soprattutto per i frequenti richiami alla tradizione orale e scritta e, nello stesso tempo, proiettata nel futuro, per l'anticipazione di idee che, in Occidente, per esempio, saranno affrontate e sviluppate solo più tardi.

Compilato per essere utilizzato dagli operatori del Mille impegnati nella costruzione dei *qanāt* (acquedotti), il trattato oggi è utile agli studiosi di Storia della scienza e delle tecniche costruttive e per investigare la trattatistica tecnica, i suoi contenuti e le sue forme, le varianti e le invarianti nel mondo occidentale ed in quello persiano. Le questioni affrontate, infatti, possono essere confrontate con quelle svolte in opere di studiosi antichi, rinascimentali e perfino moderni nelle quali sono stati dibattuti temi analoghi. I soggetti trovano attinenza diretta con le idee dei filosofi presocratici, di Talete ed Anassimandro, di Ippocrate, di Platone, di Aristotele, studiosi noti al musulmano dei primi secoli dell'Islām attraverso le loro opere tradotte dal greco. Nel lavoro del matematico-ingegnere persiano arabografo si rintraccia, comunque, pure il pensiero dei latini Seneca, Plinio il Vecchio, Lucrezio e Vitruvio. Nello stesso tempo, emerge nuova ed evidente la solida formazione scientifico-matematica che consentiva a Karajī di enunciare teoremi e di ideare strumenti di misura, oppure di utilizzare semplici strumenti di cantiere per la verifica della correttezza degli scavi effettuati nel sottosuolo.

Oltre che ai costruttori dei *qanāt*, il trattato è utile pure agli studiosi occidentali, in quanto le ricorrenti affinità e le allusioni "a cose udite", a "testi letti e trovati manchevoli allo scopo", ad "antichi autori, i sapienti" attestano che lo studioso protomusulmano del passato era disponibile ad accogliere contributi culturali provenienti da differenti aree geografiche. Tali affermazioni inducono ad estendere la ricerca sulle correlazioni fra ambiti culturali apparentemente distanti, ma in realtà separati da incomprensioni di carattere linguistico piuttosto che di contenuto. È significativo, del resto, che nel IX secolo siano state fondate istituzioni culturali su iniziativa o con l'assenso dei califfi e che esse siano diventate centri di diffusione di testi filosofico-scientifici greci nella lingua internazionale dell'oriente medievale: l'arabo. Sarà di nuovo il lavoro dei traduttori a spalancare le porte al Rinascimento grazie alla nuova traduzione in latino ed in volgare, oppure attraverso la "ricostruzione" in greco.