

GRAZIANO GHINASSI

L'EVOLUZIONE DELLE CONOSCENZE IDRAULICHE E IL RAPPORTO CON IL COMPLESSO DELLA QUIETE

ESTRATTO

da

L'ARTE DI CONDURRE LE ACQUE

Giardini storici e sistemi idraulici

nel contesto paesaggistico

di Villa La Quiete

A cura di Giorgio Galletti,

Graziano Ghinassi, Tessa Matteini

PER UNA CULTURA DELL'ACQUA NEI GIARDINI MEDICEI



Leo S. Olschki Editore
Firenze



L'arte di condurre le acque

Giardini storici e sistemi idraulici
nel contesto paesaggistico
di Villa La Quiete

A cura di
GIORGIO GALLETTI,
GRAZIANO GHINASSI, TESSA MATTEINI



Leo S. Olschki

·64·



Collana diretta da
Lucia Tongiorgi Tomasi
† Luigi Zangheri
Alberta Campitelli

L'arte di condurre le acque

Giardini storici e sistemi idraulici
nel contesto paesaggistico
di Villa La Quiete

A cura di
GIORGIO GALLETTI, GRAZIANO GHINASSI, TESSA MATTEINI



Leo S. Olschki

Tutti i diritti riservati

CASA EDITRICE LEO S. OLSCHKI
Viuzzo del Pozzetto, 8
50126 Firenze
www.olschki.it

Opera finanziata nell'ambito del progetto *Restauro del giardino storico di Villa La Quiete* - Università degli Studi di Firenze - Sistema Museale di Ateneo - PNRR Missione 1 – Digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura, Componente 3 – Cultura 4.0 (M1C3), Misura 2 “Rigenerazione di piccoli siti culturali, patrimonio culturale, religioso e rurale”, Investimento 2.3: “Programmi per valorizzare l'identità dei luoghi: parchi e giardini storici” finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU.



ISBN 978 88 222 9550 7

SOMMARIO

LUIGI ZANGHERI, <i>Acquedotti e sistemi idraulici</i>	Pag.	IX
---	------	----

PER UNA CULTURA DELL'ACQUA NEI GIARDINI MEDICEI

TESSA MATTEINI, <i>Teorie e pratiche dell'acqua nel giardino storico</i>	»	3
GIORGIO GALLETTI, <i>Cultura islamica nell'ambiente mediceo e nei giardini fiorentini fra i secoli XV e XVII: tracce per una ricerca</i>	»	17
GRAZIANO GHINASSI, <i>L'evoluzione delle conoscenze idrauliche e il rapporto con il complesso della Quiete</i>	»	31
GRAZIANO GHINASSI – PAOLO GROSSONI – ROBERTO FERRISE – TESSA MATTEINI, <i>L'acqua e il cambiamento del clima nella conservazione dei giardini storici dell'Italia centrale</i>	»	55

CONOSCENZA E INTERPRETAZIONE

ANDREA CANTILE – CHIARA GIULIACCI, <i>Dove scorrevano le acque: tracce idronimiche resistenti nella cartografia storica della valle del Terzolle e del suo antico sistema gorile</i>	»	71
GRAZIA TUCCI – ALESSANDRO CONTI – LIDIA FIORINI – ADELE MEUCCI, <i>Conoscere per conservare. Il digital twin della Grotta degli Animali come infrastruttura spaziale e informativa</i>	»	95
MARCO CALAFATI – MATTEO VALLAURI, <i>Le «acque vive» della Villa del Casale e il sistema idraulico del Balneum vitruviano ipogeo</i>	»	115
CARLOTTA BIGAGLI – MICHELE BUENO – ALESSANDRO PALCHETTI, <i>Scavare a fior d'acqua. Le indagini archeologiche del viale degli Zampilli nel Parco Mediceo di Pratolino</i>	»	127

ESPLORAZIONI DI RICERCA A VILLA LA QUIETE

FRANCESCO TORELLI, <i>Trame idriche in filigrana. Esplorazioni tra superficie e sotterraneo nel sistema paesaggistico di Villa La Quiete</i>	Pag.	143
CATERINA BONIN, <i>Il sistema idraulico delle Lepricine nel contesto paesaggistico di Monte Morello. Gestione e valorizzazione</i>	»	159
MARIA CRISTINA BARTOLUCCI, <i>Verso una comprensione del sistema idraulico storico del complesso di Villa La Quiete</i>	»	179
VIRGINIA CASTELLUCCI, <i>Coltivare un giardino storico. Studi preliminari per una ricerca applicata</i>	»	197

CONSERVAZIONE ATTIVA E GESTIONE

GIORGIO GALLETTI, <i>La piccola Grotta dell'Elettrice, memoria di un passato glorioso</i>	»	215
GRAZIANO GHINASSI, <i>L'acqua nella coltivazione del giardino storico. Una ricerca a Villa La Quiete</i>	»	227
GIULIA BASILISSI – MARCO MOZZO, <i>I giochi d'acqua della Grotta degli Animali del Giardino mediceo di Castello. Storia di un restauro</i>	»	237
LORENZO DI BILIO, <i>Parco Mediceo di Pratolino, rifunzionalizzazione e restauro del Percorso dell'Acqua. Il Viale degli Zampilli</i> ...	»	253

PER UN GLOSSARIO IDRAULICO
DEL GIARDINO DELLE MONTALVE

a cura di MARIA CRISTINA BARTOLUCCI
con la supervisione di GRAZIANO GHINASSI

Bibliografia generale	»	291
Ringraziamenti	»	309
Abstracts	»	311
Gli autori	»	321

GRAZIANO GHINASSI

L'EVOLUZIONE DELLE CONOSCENZE IDRAULICHE E IL RAPPORTO CON IL COMPLESSO DELLA QUIETE

[...] quelli che si innamorano della pratica senza scientia sono come nocchieri che entrano in naviglio senza timone o bussola, che mai hanno certezza dove si vadano. Sempre la pratica deve essere edificata sopra la buona teoria [...].

LEONARDO DA VINCI, *Trattato della pittura*.

LA COMPONENTE IDRAULICA NEL CONTESTO DEI GIARDINI

L'acqua è l'elemento intorno a cui ruota l'esistenza stessa di un giardino storico, sia per la vita delle piante che lo abitano, sia per i giochi a cui è in grado di dare forma. La familiarità che esiste con questo elemento, mai abbastanza valorizzato, porta però facilmente a soffermare l'attenzione sull'effetto visivo e a trascurare quello che sta dietro a ciò che origina la percezione di benessere e meraviglia.

È attraverso l'analisi storica che è possibile definire il contesto nel quale sono state fatte scelte e prodotti risultati. Uno strumento efficace per la sua interpretazione è l'esplorazione del progresso scientifico, le conoscenze che lo accompagnano, la tecnologia, le risorse disponibili, il clima.¹

La scienza idraulica ha probabilmente vissuto il periodo di più grande evoluzione tra la caduta dell'impero bizantino (1453) e gran parte del XVIII secolo, un arco temporale che abbraccia il periodo storico in cui hanno preso corpo i giardini medicei che ancora oggi caratterizzano il paesaggio di importanti aree della Toscana.

¹ GRAZIANO GHINASSI, *Giardino storico e irrigazione*, in ID., *Progettare l'irrigazione degli spazi verdi*, Introduzione teorico-pratica, Bologna, Edagricole, 2022, pp. 247-262.

I PIONIERI DELL'IDRAULICA MODERNA

L'assenza di basi scientifiche fece sì che nell'età antica l'idraulica fosse un'arte costituita da intuizione, pratica e capacità costruttiva. Ciò non impedì l'elaborazione di teorie e principi che nel tempo avrebbero portato ai risultati attesi grazie anche al fervore che caratterizzò l'età ellenistica. In quel periodo gli studi sull'idraulica beneficiarono del contributo di Archimede di Siracusa (287-212 a.C.), Ctesibio di Alessandria (285-222 a.C.) e Filone di Bisanzio (280-220 a.C.) che Erone di Alessandria (10-70 d.C.),² matematico, ingegnere e inventore, seppe armonizzare diventando il maggiore tecnico dell'antichità. A lui si deve l'enunciazione del principio dei vasi comunicanti, le nozioni per costruire i giochi meccanici destinati a *suscitare meraviglia*, tra cui l'eolipila³ (che con la propulsione a getto è anche la prima macchina a vapore), la *fontana di Erone* e il sifone. Applicò gli studi sull'efflusso all'orologio ad acqua trovando, senza quantificarla, la relazione tra aree delle sezioni, velocità, volume e tempo per determinare la portata di un flusso,⁴ confutò il rifiuto aristotelico dell'esistenza del vuoto e postulò che il vuoto potesse sia esistere che essere prodotto artificialmente attraverso una forza sufficientemente intensa, ammettendo che intensa dovesse essere la forza necessaria a eliminarlo, ed introducendo il concetto di *peso dell'atmosfera*.⁵ Fu autore di numerosi trattati, tra cui ebbero grande influenza fino all'epoca rinascimentale *Mechanica*, *Pneumatica* e *Automata*.⁶ Erone fu senza dubbio una mente geniale che, come Leonardo da Vinci, si trovò ad operare in un'epoca ancora non matura e comunque inadatta ad acquisire i suoi contributi. Sostenitore della necessità di una preparazione che comprenda teoria e pratica, diventerà dopo la caduta di Costantinopoli (1453) un importante riferimento per gli scienziati del periodo umanistico-rinascimentale, tra cui lo stesso Leonardo da Vinci e soprattutto Bernardo Buontalenti per le sue applicazioni idrau-

² STEFANO GIOVANNI LOFFI, *Piccola storia dell'idraulica*, Cremona, Consorzio Irrigazioni Cremonesi, 2007.

³ L'eolipila, o sfera di Eolo, mostra come l'energia termica può essere trasformata in energia meccanica sfruttando la pressione derivante dal riscaldamento di acqua all'interno di una sfera metallica.

⁴ Questa osservazione sarà la base della Legge di continuità o di Leonardo e Castelli.

⁵ Il concetto, di importanza fondamentale negli studi sull'idraulica, fu dimostrato da Torricelli nel XVII secolo.

⁶ *Mechanica* è un manuale in tre libri destinato agli architetti e agli ingegneri, *Pneumatica* descrive macchine funzionanti con la pressione di aria, acqua o vapore, *Automata* illustra in dettaglio macchine capaci di creare effetti in diversi contesti d'intrattenimento tramite mezzi meccanici o pneumatici, come teatrini automatici dotati di moto autonomo per tutta la durata dello spettacolo.

liche necessarie alle realizzazioni nel parco mediceo di Pratolino, vicino a Firenze, nella seconda metà del XVI secolo.

A Roma, Marco Vitruvio Pollione (80-15 a.C.) svolse un'intensa attività di architetto che lo portò ad essere considerato il più famoso teorico dell'architettura di tutti i tempi. Il suo trattato *De Architectura* è stato un riferimento in occidente fino alla fine del XIX secolo. Il libro VIII è dedicato all'idrologia e all'idraulica e si conclude con la trattazione delle condotte per l'acqua, aspetto caro a Vitruvio⁷ e di vitale importanza per Roma, nota anche come *Regina aquarum* per il fatto che la sua storia è strettamente legata all'acqua fin dalla sua fondazione. Nel Libro VIII, al Capitolo VI del *De Architectura*⁸ Vitruvio parla dei metodi di costruzione e manutenzione degli acquedotti, su cui si ritornerà in seguito.

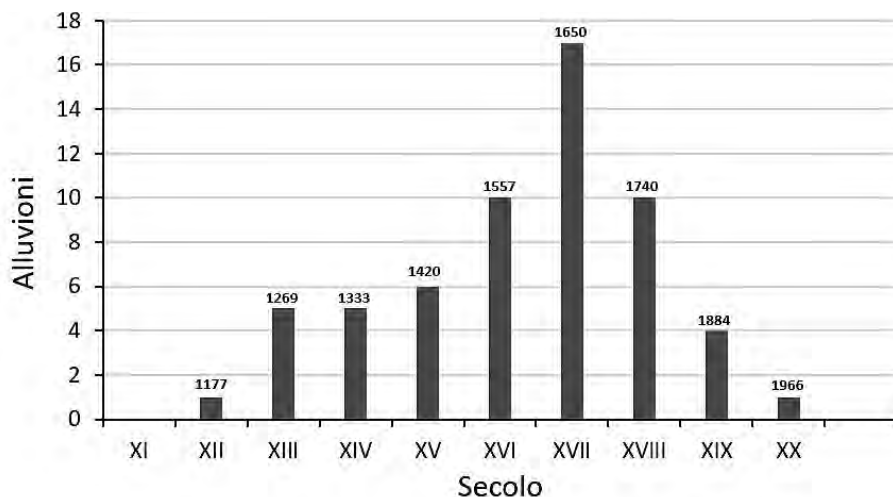
LA CADUTA DI BISANZIO E LA DIFFUSIONE DEI TESTI CLASSICI

Alla metà del XV secolo la caduta di Costantinopoli rappresenta la tappa fondamentale per la nascita dell'Umanesimo, del Rinascimento e per l'inizio dell'Età Moderna. Secondo la maggior parte degli studiosi, l'importanza complessiva della fase che si apre in questo periodo è superiore a quella rappresentata dalla scoperta dell'America.⁹ Per l'idraulica antica, il bisogno di governare le acque fu prevalente alla necessità di capirne le leggi fisiche, poiché le conoscenze empiriche e la tecnologia disponibile erano quasi sempre sufficienti a soddisfare le esigenze collettive. Non mancarono ovviamente situazioni che avrebbero tratto enorme beneficio dalle conoscenze idrauliche riportate nei testi classici e soprattutto da quelle acquisite a partire dalla fine del Rinascimento. Tra queste, è emblematica la serie di eventi alluvionali connessi all'espansione di Firenze in Oltrarno (Fig. 1), iniziata con la costruzione della quinta cerchia muraria comuna-

⁷ Secondo Frontino (30-104 d.C.), l'interesse di Vitruvio per gli acquedotti era maturato anche per l'essere stato collaboratore di Agrippa quando questi ricopriva la carica di *Curator aquarum*, una delle più alte cariche dello Stato che aveva il controllo assoluto sull'approvvigionamento idrico della città di Roma e sulla gestione degli acquedotti. Frontino fu curatore degli acquedotti di Roma e si ispirò all'opera di Vitruvio per la sua opera principale, il *De aquaeductu urbis Romae*.

⁸ https://penelope.uchicago.edu/Thayer/L/Roman/Texts/Vitruvius/8*.html.

⁹ Con la riscoperta dei Classici e la nascita dell'Umanesimo si scoprono nuove tecniche architettoniche, conoscenze scientifiche andate perse e molte opere letterarie che spingono verso l'uscita dal teocentrismo medievale e permettono all'individuo di comprendere la sua importanza. Cosimo il Vecchio dei Medici contribuì a raccogliere molti manoscritti dell'epoca ellenistica di grande importanza e bellezza e a farli assegnare al convento di San Marco nel 1441. VESPASIANO DA BISTICCI, *Vite di uomini illustri del secolo XV*, Firenze, Barbera, 1859.



Periodo	Tipo di clima
900 – 300 a.C.	Fresco
300 – 100 a.C.	Mite
100 a.C. – 400 d.C.	Caldo e arido
400 – 750	Freddo
750 – 1.200	Caldo
1.200 – 1.350	Freddo
1.350 – 1.560	Fresco
1.560 – 1.740	Picco di freddo
1.740 – 1.850	Forte freddo
1.850 – 1.950	Ciclo caldo
1.950 – 1.975	Episodio freddo
1975 – a oggi	Ripresa del ciclo caldo

Fig. 1. Esondazioni dell'Arno registrate a Firenze e nelle aree circostanti. Per ogni secolo è indicato l'anno dell'evento più disastroso. Tab. 1. Le fasi climatiche del periodo sub-atlantico, ultima era climatica dell'Olocene caratterizzata dall'alternanza caldo-freddo.

le, completata nel 1175,¹⁰ e il concomitante inizio della fase climatica fredda,¹¹ che proseguirà con fasi alterne fino alla metà del XIX secolo¹²

(Tab. 1). In che modo la conoscenza idraulica avrebbe potuto perlomeno ridurre i danni provocati dalle alluvioni non è dato sapere. Certamente gli

¹⁰ Il rafforzamento dei collegamenti tra le sponde del fiume nel tratto urbano portò nel XIII secolo alla costruzione di 3 ponti (alla Carraia, alle Grazie e Santa Trinita) e della pescaia di Santa Rosa, una struttura trasversale sopraelevata di circa 4 metri rispetto al fondo dell'alveo, che tra le varie funzioni aveva quella di stabilizzarlo rallentando la velocità dell'acqua nel tratto a monte della pescaia. Questa sistemazione riduceva però anche l'area della sezione del flusso, riducendo di conseguenza la portata convogliabile.

¹¹ MARIO PINNA, *Le variazioni del clima in epoca storica e i loro effetti sulla vita e le attività umane. Un tentativo di sintesi*, «Bollettino della Società Geografica Italiana», 1969, pp. 198-275.

¹² ANTONIO LINOLI, *Land reclamation, irrigation and flood protection in Italy over the centuries*, vol. VI, Roma, Ital-ICID, 2011.

addetti alla sicurezza idraulica dell'epoca ignoravano il *principio di continuità*, una delle leggi fondamentali dell'idraulica formulata da Benedetto Castelli intorno agli anni '30 del XVII secolo nella sua opera *Della misura delle acque correnti*.

LA NASCITA DEL METODO SPERIMENTALE E GLI STUDI SULLE ACQUE

Leonardo da Vinci (1452-1519) è scienziato, inventore e artista. La sua formazione scientifica fu profondamente influenzata dai grandi scienziati del passato tra cui Archimede, Vitruvio, Euclide ed Erone, i cui insegnamenti si percepiscono nell'approccio di Leonardo alla nascita del metodo sperimentale. Leonardo dimostrò grande interesse verso l'acqua e le opere idrauliche e le sue idee rivoluzionarie sulla fluidodinamica si ritrovano nei testi e nei disegni giunti fino a noi. Partendo dall'assunto dell'incompressibilità dell'acqua, come Erone osservò correttamente che area della sezione di passaggio e velocità media nella sezione sono tra loro inversamente legate. Questa caratteristica contiene sia il già citato principio di continuità, sia il principio della trasmissione della forza attraverso la compressione di un fluido. Come fu per Erone, anche le sue osservazioni erano novità troppo elevate per la scienza del tempo e anticipatrici di principi e interpretazioni che giunsero molto dopo con Cartesio, Pascal, Huygens e Galileo, contribuendo così a costruire le basi per i grandi progressi avvenuti nel XVII e XVIII secolo.

LA SPECIALIZZAZIONE DELLE PROFESSIONALITÀ E LA DIFFUSIONE DEL SAPERE. LE ACCADEMIE E LA RICERCA FINO AL XVIII SECOLO

I principi tramandati dalla scuola ellenistica erano descritti in modo chiaro, ma la mancanza delle relazioni matematiche tra le grandezze che caratterizzavano i fenomeni osservati ne limitava le possibilità applicative, vincolandole alla disponibilità dei testi e soprattutto alla loro comprensione.

Il rinnovamento culturale del Rinascimento si manifestò anche attraverso lo studio dei classici, che all'occorrenza venivano tradotti per costruzioni meccaniche e idrauliche realizzate quasi esclusivamente in ambito residenziale o paesaggistico, ma non agricolo. È il caso dei testi di Erone, *Meccanica* e *Pneumatica*, dapprima tradotti in latino nel 1575 e poi in italiano nel 1582 su richiesta di Bernardo Buontalenti per procedere con le

realizzazioni nel giardino della villa di Pratolino, tutte legate all'uso dell'acqua,¹³ dai giochi¹⁴ fino agli spettacoli prodotti da automi.¹⁵

Il flusso di visitatori animati dalla curiosità verso i rinnovamenti rinascimentali contribuì a creare le condizioni per l'avvio di scambi culturali in Europa, tanto che alla fine del XVI secolo si assiste all'inizio della mobilità delle maestranze artigiane, tra cui fontanieri e idraulici, fra le corti europee. Questo dinamismo comporterà una crescente diffusione di modelli stilistici e tecnologie su scala internazionale.¹⁶

Più o meno nello stesso periodo avvenne la nascita delle Accademie e della Comunità Scientifica che, con il rapido sviluppo della stampa, crearono le condizioni per una diffusione sempre più rapida delle riviste scientifiche e della letteratura tecnica specialistica, dando forma alla moderna scienza idraulica di cui fu esempio l'ingegnere Agostino Ramelli (1531-1608). La sua unica opera, *Le diverse et artificiose machine*, è costituita da 195 capitoli, ciascuno con l'illustrazione e la descrizione, in francese e in italiano, di una diversa macchina, nella maggioranza dei casi adatta al sollevamento dell'acqua. Tra queste, oltre a norie, viti di Archimede e una grande varietà di pompe, illustra un'ingegnosa pompa rotativa ideata da lui stesso. Fu un testo di riferimento, poiché le macchine di Ramelli usano tutti i tipi di ingranaggi che sarebbero stati usati nei secoli successivi, oltre a vari tipi di valvole.

La ricerca nell'ambito dell'idraulica progredì grandemente nel XVII secolo. I concetti eroniani cominciarono a essere interpretati in maniera scientifica da Galileo Galilei (1564-1642), che contribuì allo sviluppo della meccanica dei fluidi seguendo il rigore geometrico euclideo per fondare il metodo scientifico moderno.¹⁷ Tra gli studi condotti da Evangelista Tor-

¹³ Gli ingenti fabbisogni di Pratolino venivano soddisfatti con 8 litri al secondo, forniti da 18 sorgenti ubicate sotto Monte Senario e trasportati fino all'ingresso del parco. Vedi *infra*, L. DI BILIO.

¹⁴ Il viale degli zampilli era un laboratorio di ingegneria idraulica alla cui realizzazione hanno contribuito anche gli studi sulla balistica svolti nel 1546 da Niccolò Fontana, detto Tartaglia, e utilizzati da Buontalenti per stabilire la distanza dei getti per attraversare il viale (cfr. IGNAZIO BECCHI, *Riesumare la gloria di Pratolino. Come svelare i segreti di Buontalenti*, workshop *Il rinascimento delle fontane*, Parco di Pratolino, 16 maggio 2025).

¹⁵ La traduzione in latino fu fatta da Federico Commandino, mentre quelle in italiano furono due su richiesta di Buontalenti: quella di Oreste Vannoccio Biringuccio riguardò tutto il lavoro, l'altra di Bernardo Davanzati si occupò solo della spiegazione teorica.

¹⁶ LUIGI ZANGHERI, *L'acqua a Pratolino, da elemento naturale ad artificio 'maraviglioso'*, in GIOVANNA RAGIONIERI (a cura di), *Il giardino storico italiano. Problemi di indagine. Fonti letterarie e storiche*, Atti del Convegno di Studi (Siena-San Quirico d'Orcia, 6-8 ottobre 1978), Firenze, Olschki, 1981, pp. 355-361.

¹⁷ Per comprendere la costruzione del metodo scientifico è fondamentale ricordare Eucli-

ricelli (1608-1647) si ricordano quelli fondamentali sulla pressione, sugli strumenti per la sua misura (*barometro di Torricelli*) e sulle azioni esercitate dall'aria sui fluidi.¹⁸ Dimostrò inoltre che, in presenza di gravità, la velocità di un getto d'acqua, e quindi la distanza che può coprire, dipende dalla radice quadrata della pressione, H .¹⁹ I concetti espressi da Torricelli sulla pressione furono approfonditi da Blaise Pascal (1623-1662) che formulò l'omonimo Principio riferito ai liquidi incompressibili, quindi ideali.²⁰ Il Principio afferma che un aumento della pressione in un punto del liquido confinato (ad esempio, entro una condotta) si trasmette ad ogni punto del liquido all'interno del contenitore con la stessa intensità e in direzione sempre perpendicolare alla parete del contenitore sulla quale il liquido esercita la pressione.²¹ Edme Mariotte (1620-1684), che fu tra i più grandi ricercatori, condusse in Francia studi sull'idraulica²² e sulla meccanica che portarono all'enunciazione dell'omonima formula.²³ Altra figura di grande interesse fu Salomon de Caus (1576-1626), architetto e ingegnere idraulico, che compì un viaggio in Italia tra il 1595 e il 1598 durante il quale visitò i

de, precursore di un processo deduttivo della scienza, fondato sulla successione: enunciazione, esempio, specificazione, costruzioni aggiuntive, dimostrazione, conclusione. HUNTER ROUSE – SIMON INCE, *History of Hydraulics*, supplemento a «La Houille Blanche», 1957, p. 269.

¹⁸ Tramite il barometro a mercurio, Torricelli dimostrò che l'aria ha un peso e come questo agisce spingendo l'acqua una volta creato il vuoto barometrico. Supportata quantitativamente dalle formule per il calcolo delle perdite di carico localizzate e distribuite, questa osservazione permette, tra l'altro, di determinare l'altezza di aspirazione delle pompe necessaria al loro corretto funzionamento.

¹⁹ Torricelli applica la balistica a un getto con velocità $V=(2gH)^{0.5}$. Come la gittata di un cannone studiata da Tartaglia, anch'essa coprirebbe la massima distanza con un alzo di 45° . La stessa relazione permette di calcolare l'altezza teorica H di un getto animato dalla velocità V , in entrambi i casi senza considerare l'attrito con l'aria.

²⁰ Per le applicazioni pratiche, l'acqua è considerata un fluido incompressibile.

²¹ Tale Principio fu enunciato nel trattato *Sur l'équilibre des liqueurs* pubblicato nel 1653. Le implicazioni pratiche si ritrovano sia nel torchio idraulico, tra le cui applicazioni ricadono i sistemi frenanti e le presse idrauliche, sia nel calcolo degli ancoraggi nelle reti idrauliche.

²² EDMÉ MARIOTTE, *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides: divisé en v. parties*, Paris, Jean Jombert, 1700, p. 390.

²³ Formula di Mariotte è il nome che in Italia si assegna alla formula che, per i recipienti in pressione come tubi e serbatoi, mette in relazione pressione (P), diametro interno (D), spessore (s) e tensione tangenziale ammissibile (σ_{am}). La formula permette il calcolo dello spessore necessario per sopportare la sollecitazione operata dall'acqua al suo interno ed evitare deformazioni irreversibili (cedimenti plastici) o esplosioni. Dalla formula si deduce facilmente come, per lo stesso materiale e a parità di pressione all'interno del tubo, sia necessario uno spessore maggiore al crescere del diametro interno del condotto, ovvero che a parità di spessore la resistenza del tubo cresce al diminuire del diametro interno. Queste relazioni, qualitativamente conosciute già da Vitruvio, spiegano come per il piombo e la terracotta, durevoli nel tempo, si usassero diametri generalmente piccoli. Mariotte fu anche tra i fondatori della fisica sperimentale in Francia, dove condusse studi sulle proprietà elastiche dei gas da cui la legge di Boyle-Mariotte.

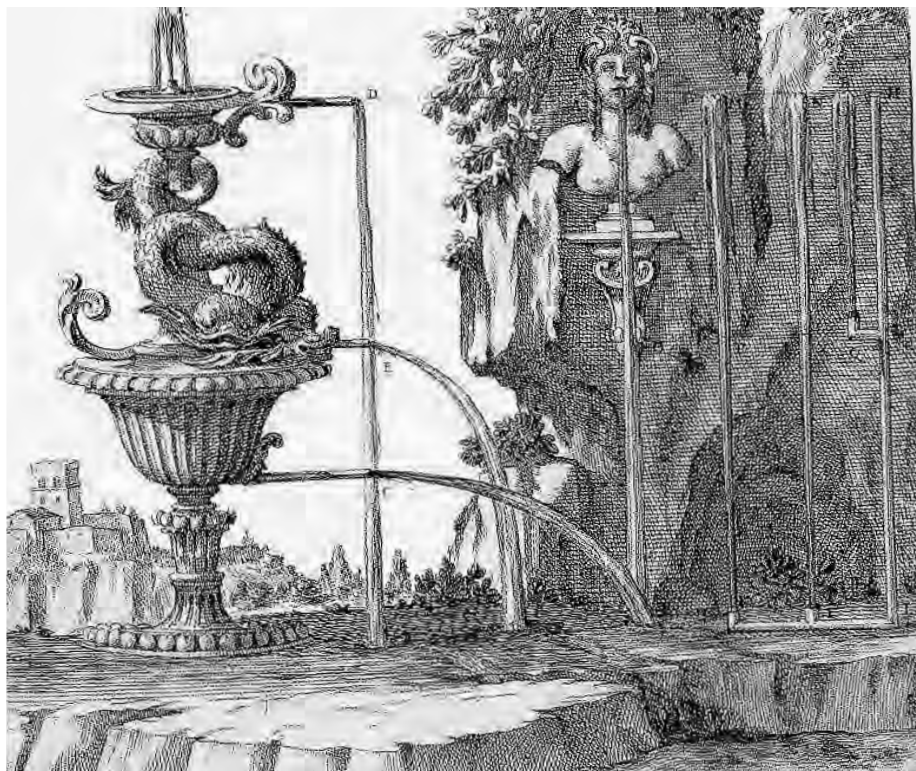


Fig. 2. Incisione da *Utilissimo trattato dell'acque correnti* di Carlo Fontana (Roma, 1696). Si osserva come l'incremento della distanza del getto C rispetto a E venga fatto corrispondere alla riduzione dell'energia potenziale (o all'incremento della pressione) da E a C e come l'altezza degli zampilli, D, venga rappresentata alla maniera dei vasi comunicanti, dove però l'acqua è ferma.

giardini di Villa d'Este a Tivoli e di Pratolino, raccogliendo una dettagliata documentazione su quanto osservato.²⁴ La sua pubblicazione più rilevante nell'ambito dell'idraulica è *Les raisons des force mouvantes*, un manuale dove espone i principi su cui erano basati i funzionamenti di automi, fontane e scherzi d'acqua nel giardino del XVII secolo. Più in generale, il lavoro tratta i meccanismi che caratterizzavano gli impianti idraulici dei giardini rinascimentali italiani derivati dai testi di Archimede, Filone, Vitruvio e, soprattutto, dalle opere appena rieditate di Erone di Alessandria. Nel pa-

²⁴ PAOLO CAVAGNERO – MARIA ADRIANA GIUSTI – ROBERTO REVELLI, *Scienza idraulica e restauro dei giardini*, Torino, Celid, 2009, pp. 102-116.

norama scientifico europeo Christiaan Huygens (1629-1695) fu una figura di riferimento per la fisica, l'astronomia e la matematica. Si deve a lui la prima ipotesi sulla conservazione dell'energia, introducendo il concetto di forza viva, che in seguito sarà chiamata energia cinetica. Fu il primo direttore della Academie Royale des Scienses sotto Luigi XIV, in un periodo di scambi culturali con la corte di Cosimo III de' Medici. A rappresentare l'enfasi e i limiti della ricerca nell'ambito dell'idraulica merita un posto Carlo Fontana (1638-1714), architetto, scultore e ingegnere. Tra le sue opere va menzionato *Utilissimo trattato dell'acque correnti*, dove si legge che “*Nel fine precipizio dell'acque incondottate, hanno esse Acque doppia velocità di quella, che è a mezz'altezza*”. È probabile che Fontana si sia ispirato al lavoro di De Caus, così come fosse a conoscenza del principio torricelliano sulla velocità dell'efflusso, incorrendo però nell'errore di non considerare l'attrito dell'acqua durante il movimento²⁵ (Fig. 2), tema fondamentale per l'idrodinamica non ancora affrontato sperimentalmente.

L'ILLUMINISMO

Il movimento illuminista si diffuse progressivamente durante il XVIII secolo fino a interessare tutta l'Europa e gli Stati Uniti. La scoperta delle leggi naturali illuminava e alimentava la fiducia nell'intelligenza umana, di cui furono rappresentanti personaggi di scienza che costituiscono l'asse portante della scienza idraulica contemporanea e delle sue applicazioni. Tra questi, Isaak Newton (1642-1726) è ricordato come scopritore della legge della gravitazione universale e quelle del moto che ne conseguono. Nello studio dei fluidi si definiscono “newtoniani” quelli, come l'acqua, la cui viscosità non varia al variare dello sforzo di taglio che viene applicato e quindi della velocità a cui sono sottoposti. Di conseguenza, i fluidi newtoniani hanno un valore definito di viscosità. Bernard Forest Bélidor (1697-1761) fu ingegnere militare e il suo lavoro più famoso è *L'architecture hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie*. Fu pubblicato per la prima volta nel 1737 e considerato il primo vero trattato di ingegneria moderna essendo una guida completa alla gestione e alla realizzazione di opere idrauliche come pozzi, canali, acquedotti e getti d'acqua, dove il calcolo integrale viene utilizzato per la prima volta nella risoluzione di problemi tecnici. Nel tomo II, libro IV, capitolo 3, Belidor

²⁵ Gli studi più significativi sulle perdite di energia per effetto degli attriti inizieranno nel XIX secolo a opera di scienziati tra cui Jean Poiseuille, Henry Darcy, Julius Weisbach e Osborne Reynolds.

tratta anche il problema delle perdite di carico, distribuite e concentrate, e il loro non trascurabile effetto sulle altezze dei getti. Riguardo alle perdite di carico distribuite, si limita a constatarne la proporzionalità con la sola lunghezza della condotta. Sulle perdite concentrate, dette anche accidentali o localizzate, osserva che i diversi tipi che si possono incontrare lungo il percorso della condotta, come curve, diramazioni e imbocchi, possono assumere valori rilevanti,²⁶ suggerendo modalità di calcolo più raffinate rispetto a quelle proposte da Mariotte. Il padre dell'idrodinamica moderna è senz'altro Daniel Bernoulli (1700-1782), matematico e fisico che con l'omonima equazione formulò il principio di conservazione dell'energia meccanica, la legge più importante della fluidodinamica²⁷ esposta in *Hydrodynamica*, la sua opera più conosciuta. Un contributo importante alla scienza idraulica fu dato anche da Antoine Chezy (1718-1798), ingegnere e fisico francese che elaborò la relazione matematica tutt'oggi utilizzata nell'ambito dell'ingegneria idraulica per calcolare la velocità media di una corrente a pelo libero in moto uniforme e principalmente turbolento.²⁸

I TRATTATISTI

Nel secolo dei lumi l'intensità del progresso scientifico rendeva talvolta difficoltoso definire lo stato dell'arte nei diversi settori che ne beneficiavano, mentre al tempo stesso cresceva l'avversione alla cultura e al sapere come vettori di progresso e di libertà politica e culturale da parte di influenti ambienti conservatori.

Ciò che accadde a Antoine Joseph Dezallier d'Argenville (1680-1765) è emblematico delle difficoltà derivanti dalla rapidità della crescita delle conoscenze, mentre quello che può essere considerato il primo esempio di *Enciclopedia* ha dovuto subire le ingerenze e le persecuzioni dei poteri ostili alla libera critica e al progresso delle scienze.

²⁶ In corrispondenza dell'accidentalità, la pressione dà origine a una sollecitazione. Nel caso di variazioni di direzione di una condotta, l'effetto della forza risultante dalla pressione dell'acqua sulla curvatura sollecita un'azione che tende a spostarla, provocando movimenti indesiderati e rischio di rotture. L'entità della sollecitazione dipende dalla pressione dell'acqua, dal diametro del tubo e dall'angolo di curvatura.

²⁷ *Per un fluido ideale e incompressibile in moto stazionario, la somma dell'energia potenziale, cinetica e di pressione si mantiene costante lungo tutto il percorso.*

²⁸ Secondo la formula, la velocità dell'acqua in un canale o in un tratto di alveo naturale che presenta caratteristiche assimilabili, dipende dalla pendenza del fondo, dalle proporzioni della forma (raggio idraulico) e dalla resistenza al moto di sponde e fondo (scabrezza). L'applicazione della formula è stata estesa alle correnti in pressione.

Dezallier d'Argenville fu naturalista e storico dell'arte che si propose di scrivere un compendio che intitolò *La theorie et la pratique du jardinage*. Per l'esigenza imposta dai continui aggiornamenti richiesti, l'opera fu pubblicata in più edizioni dal 1709 al 1747 ed è considerata la più importante guida alla progettazione del giardino formale francese. L'ultima edizione, costituita da quattro parti, riporta nell'ultima, articolata in dodici capitoli, nozioni di idraulica che rispetto alle precedenti versioni vengono ampliate e strutturate organicamente al punto da farne un vero e proprio *Trattato di idraulica ad uso dei giardini*.²⁹ Qui Dezallier fornisce indicazioni pratiche su metodi e relazioni per il calcolo delle portate, delle velocità dell'acqua e delle pressioni richieste per ottenere zampilli dell'altezza desiderata, sull'individuazione di sorgenti e sulle modalità di costruzione degli acquedotti in modo da garantirne il corretto funzionamento in termini di continuità del flusso e sufficiente pressione per il funzionamento di fontane e zampilli senza dover fare ricorso all'uso di pompe. Il riferimento è a quelle ideate all'inizio del '700 durante la prima rivoluzione industriale e a cui nel *Trattato* attribuisce la maggiore importanza tra tutte le macchine, pur non essendo di fatto mai state utilizzate fino ad allora nell'ambito dei giardini.³⁰

L'*Encyclopédie des sciences*, elaborata da Denis Diderot (1713-1784) e Jean-Baptiste Le Rond D'Alembert (1717-1783)³¹ e anch'essa risalente al XVIII secolo, può essere considerata il primo esempio enciclopedico nonché uno dei primi grandi manifesti rappresentativi dell'illuminismo europeo. È un'opera che privilegia l'aspetto pratico e sperimentale del sapere e che si ispira a padri della rivoluzione scientifica quali furono Galileo, Newton e Huygens. Il lavoro è costituito da 17 volumi di voci e 11 di tavole illustrate, iniziato nel 1751 e completato nel 1772, dopo battute d'arresto imposte dai poteri contrari alla diffusione di una visione del mondo laica e moderna.³²

²⁹ ANTOINE-JOSEPH DEZALLIER D'ARGENVILLE, *Quatrième partie, qui contient un traité d'hydraulique convenable aux jardins*, in *La Théorie et la pratique du jardinage, où l'on traite a fond des beaux jardins avec Les Pratiques de Géometrie nécessaires pour tracer sur le Terres toutes sortes de figures et un traité d'hydraulique convenable aux jardins* [Paris, 1747], éd. par cura di S. Cartuyvels, Arles, Actes Sud, 2003, pp. 419-600.

³⁰ Nella descrizione di procedure e tecniche costruttive, tra cui quelle per zampilli e acquedotti, Dezailler fa riferimento a realizzazioni e all'opera degli scienziati che l'hanno preceduto tra cui Erone, Vitruvio, Galileo, Castelli, Torricelli, Ramelli, De Caus, Fontana, Pascal e Mariotte, nonché al coevo Belidor per la chiarezza dei testi e dei disegni.

³¹ DENIS DIDEROT – JEAN-BAPTISTE LE ROND D'ALEMBERT, *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, chez Briasson, David, Le Breton, Durand, 1751-1772.

³² GRAZIANO GHINASSI, *Storia, sviluppi e prospettive dell'irrigazione*, in LAURO VENTURI (a cura di), *Digital Irrigation, l'agricoltura per il prossimo millennio*, Milano, Angelo Guerini e Associati, 2024, pp. 21-90.

GLI ACQUEDOTTI MEDICEI

Prima della diffusione dei moderni sistemi di sollevamento,³³ l'approvvigionamento idrico dei giardini avveniva soltanto tramite acquedotti per gravità,³⁴ cioè quelli che sfruttano il dislivello tra il punto di presa e quello di consegna. Il limite principale stava nell'incapacità delle pompe disponibili di sollevare portate elevate a grandi altezze, condizione a cui non poté sottrarsi nemmeno Luigi XIV, che per trasportare l'acqua a Versailles investì senza successo immense ricchezze nella Machine de Marly.³⁵ Gli acquedotti medicei, tutti funzionanti per gravità, trasportavano in canali o condotte l'acqua prelevata da una o più sorgenti disposte lungo i versanti fino al complesso villa giardino, dove l'acqua veniva invasata in una conserva. Le lunghezze degli acquedotti variavano dai circa 3 km di Valcenni fino ai 13 di Pratolino. A valle della conserva, l'acquedotto che serviva il giardino era spesso realizzato su pendenze piuttosto rilevanti,³⁶ dove venivano impiegati sia tubi metallici, normalmente di piombo, sia in terracotta (Figg. 3a-b), sempre di piccolo diametro.

I criteri costruttivi degli acquedotti non erano sostanzialmente cambiati rispetto alle prescrizioni fornite da Vitruvio nel *De Architectura*. Poiché l'acqua era veicolata "*per canales structiles, aut fistulis plumbei, seu tabulis fictilibus*", era importante conoscere le specificità di ciascuna tipologia di trasporto, le caratteristiche strutturali e i criteri di posa dei materiali,³⁷ oltre

³³ Fino a tutto il XVII secolo i tentativi di costruire acquedotti con sollevamento meccanico avevano messo in luce limiti insuperabili dovuti alla mancanza di appropriata tecnologia nella costruzione di pompe e tubazioni. G. GHINASSI, *Storia, sviluppi e prospettive*, cit., pp. 21-90.

³⁴ LUIGI ZANGHERI, *Acquedotti e sistemi idraulici*, in ID., *Storia del giardino e del paesaggio. Il verde nella cultura occidentale*, Firenze, Olschki, 2003, pp. 309-321.

³⁵ GRAZIANO GHINASSI – TESSA MATTEINI, *Le acque di Versailles*, in PAOLA MARESCA (a cura di) *Il Giardino e l'acqua*, Firenze, Angelo Pontecorboli Editore, 2009, pp. 21-42.

³⁶ ALESSANDRO VEZZOSI (a cura di), *La Fonte delle fonti-Iconologia degli artifizi d'acqua*, Firenze, Alinea, 1985, p. 82.

³⁷ De Caus in *Les raisons des force mouvantes*, rimarca la necessità di scegliere i materiali costruttivi in relazione alla provenienza dell'acqua, ai tipi di tracciato e alle pressioni che possono verificarsi lungo il percorso. In caso di condotte interrate suggerisce di realizzare pozzi di ispezione e areazione, in modo da facilitare l'individuazione di guasti e la successiva riparazione, evidentemente come criterio generale applicabile a canalizzazioni e tubazioni. Per garantire le migliori condizioni di flusso dell'acqua all'interno dei tubi suggerisce l'utilità di sfianti da posizionare nelle parti della condotta dove potrebbe accumularsi aria sia per l'andamento altimetrico della tubazione, sia per riempimenti troppo rapidi, e di valvole di spurgo nelle zone più basse in modo da rimuovere anche le impurità accumulate. In questo modo si riduce anche il rischio di aumento della pressione all'interno della tubazione. Forte delle esperienze raccolte soprattutto nel suo viaggiare in Italia, intorno al 1620 progettò e realizzò ad Heidelberg, in Germania, i giardini del Palatinato, raccogliendone poi i dettagli realizzativi nell'opera *Hortus Palatinus*. P. CAVAGNERO – M.A. GIUSTI – R. REVELLI, *Scienza idraulica*, cit., pp. 102-116.



Figg. 3a-b. Elementi di condotta in terracotta nel viale degli zampilli a Pratolino. Foto dell'autore a sinistra, di Cristina Bartolucci a destra.

tramite canalizzazioni,³⁸ “anche in tutti gli acquedotti medicei vennero adottate soluzioni” che comprendevano gallerie sufficientemente alte e larghe (1,80 m × 1,12 m) “che consentivano non solo il passaggio delle acque nella cunetta della platea delle gallerie, ma anche la posa in opera di tubi di piombo o laterizio”³⁹ (Fig. 4; rimando al testo di Zangheri 2003 ripubblicato).

Per adattarsi alla morfologia del territorio gli acquedotti potevano anche essere costruiti in modalità combinata (Fig. 5), ma non è certo che questo accadesse negli acquedotti a servizio di ville e giardini medicei.

Il piombo era utilizzato prevalentemente per la rete acquedottistica interna “perché permetteva di far scendere e risalire l'acqua senza problemi”⁴⁰ essendo in grado di resistere a pressioni di alcuni bar senza deformarsi,⁴¹ oltre a poter essere facilmente modellabile plasticamente per realizzare curve e gomiti.⁴² I tubi in piombo erano più costosi di quelli in laterizio e di quelli

³⁸ Cfr. L. ZANGHERI, *Acquedotti e sistemi idraulici*, cit., pp. 309-321.

³⁹ Nei testi consultati non risultano tuttavia riferimenti espliciti a specifici acquedotti.

⁴⁰ Ciononostante a Pratolino vennero sostituite con altre di terracotta nel 1809, dando origine a perdite di acqua che si infiltrava nelle fondazioni della villa portando alla sua demolizione nel 1818. LUIGI ZANGHERI, *L'acqua a Pratolino. da elemento naturale ad artificio 'maraviglioso'* in G. RAGIONIERI (a cura di), *Il giardino storico italiano*, cit., pp. 355-361.

⁴¹ RENATE TOLLE-KASTENBEIN, *Archeologia dell'acqua, la cultura idraulica nel mondo classico*, Milano, Longanesi & C, 2005, pp. 103-104.

⁴² In corrispondenza delle variazioni di direzione si verificano sollecitazioni dovute alla spinta dinamica dell'acqua che possono provocare movimenti della condotta, deformazioni,

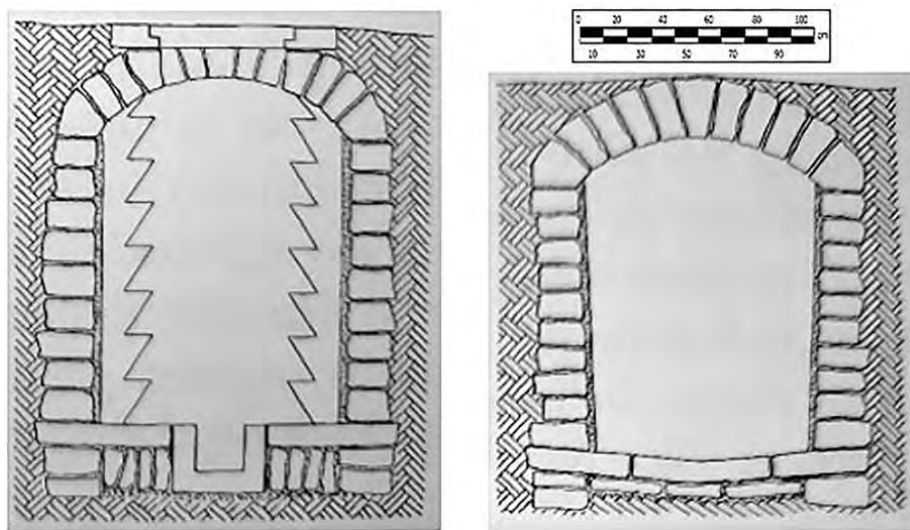


Fig. 4. Parco di Pratolino: a sinistra, sezione di un pozzetto di ispezione e relativa scala di accesso in un condotto, a destra, sezione di uno dei condotti (da L. ZANGHERI, *Acquedotti e sistemi idraulici*, cit., pp. 309-321 e ripubblicato in questo volume).

in ghisa e ferro,⁴³ oltre ad essere più pesanti e meno resistenti di questi ultimi.

I tubi in terracotta erano elementi lunghi 50-60 cm, di forma cilindrica o tronco conica, che venivano collegati inserendo l'estremità nel verso dell'acqua (*colletto*) nell'alloggiamento dell'elemento successivo (*collo*) che per questo si trovava ad avere uno spessore pari alla metà di quello delle pareti. Questo comportava, oltre a una maggiore fragilità, la difficoltà nella tenuta delle guarnizioni dei raccordi, che venivano saldati con impasti di materiali variabili da luogo a luogo. A questo si aggiungeva la necessità di curare il letto di posa per evitare sollecitazioni che potessero danneggiare la tenuta dei giunti per disallineamento o per sfilamento in corrispondenza

rotture e sfilamenti di giunture. Queste azioni dipendono dal diametro interno del tubo, dalla pressione in quel tratto e dall'angolo di curvatura. Per contrastare le forze che si generavano nella condotta, i tubi in piombo «venivano rinforzati con un letto di pietra o di magrone per renderli meno deboli e più sicuri». Il piombo ha una resistenza meccanica relativamente bassa che lo rende più suscettibile a deformazioni plastiche, quindi permanenti, rispetto ad altri materiali.

⁴³ I tubi in ferro sono entrati in uso nel XVII secolo. Secondo d'Argenville, oltre alla superiore robustezza e alla migliore tenuta nei raccordi e nelle inserzioni delle derivazioni e delle valvole, avevano una durata maggiore e un costo quattro volte inferiore a quelli di piombo. L. ZANGHERI, *Acquedotti e sistemi idraulici*, cit., pp. 309-321.

di gomiti o curvature. Per queste ultime evenienze, tipiche del sifone inverso, Vitruvio fornisce indicazioni sugli ancoraggi, suggerendo di fissare saldamente il tubo al suolo e di zavorrarlo.⁴⁴

La funzionalità di un acquedotto in terracotta beneficia sia della linearità della struttura, che è legata alla morfologia del territorio che attraversa, sia del superamento dei vincoli altimetrici che può presentare il percorso dalla sorgente alla conserva.

Posto che all'interno di una tubazione l'acqua non scorra necessariamente in pressione, le variazioni di direzione rappresentano comunque una potenziale fonte di criticità, soprattutto se la tubazione è in terracotta. Altrettanto può capitare nel superamento di dislivelli che possono creare pressioni interne dannose per la tenuta del materiale, specialmente in caso di occlusioni della condotta dovute al materiale trasportato o all'accumulo di concrezioni.⁴⁵

Per queste ragioni, fin dall'antichità lungo il percorso degli acquedotti venivano posizionati dei *bacini* che avevano un ruolo fondamentale nella conduzione dell'acqua poiché svolgevano diverse funzioni, anche contemporaneamente.⁴⁶ Quasi tutti fungevano inevitabilmente da vasche di



Fig. 5. Rappresentazione di un acquedotto realizzato con tratti intubati lineari, a sifone inverso e a pelo libero in galleria e in superficie. In corrispondenza di ogni variazione di tipologia si osserva la presenza di un manufatto di controllo (da: <https://www.roma-noimperio.com/2017/11/idraulica-romana.html>).

⁴⁴ R. TOLLE-KASTENBEIN, *Archeologia dell'acqua*, cit., p. 103.

⁴⁵ La formazione di concrezioni ed incrostazioni calcaree era un problema generato dalle acque provenienti dalle sorgenti di Monte Morello. CARLO A. GARZONIO – MICHELA MORETTI, *Gli impianti storici per l'utilizzo delle acque nei giardini delle ville medicee di Castello e Petraia: analisi, restauro e valorizzazione dell'archeologia degli acquedotti*, «Restauro Archeologico», 22(2), 2016, p. 44.

⁴⁶ Per approfondimenti sul tema si rimanda a: R. TOLLE-KASTENBEIN, *Archeologia dell'acqua*, cit., pp. 113-121.

sedimentazione (piscina limaria) in quanto la velocità dell'acqua trasportata dalla condotta (aperta o chiusa, in pressione o a pelo libero) rallentava facilitando il deposito del materiale in sospensione. Anche i bacini di *compensazione* della pressione, che disconnettevano idraulicamente due tratti di acquedotto, servivano per la sedimentazione in quanto la loro sezione, più ampia di quella della condotta, determinava una diminuzione della velocità dell'acqua e quindi una minore capacità di trasporto solido. In caso di condizioni altimetriche sfavorevoli o errori sulle quote del percorso, si inserivano i bacini di smorzamento, che attraverso l'approfondimento del bacino, evitavano di far gravare la compensazione della pendenza sul tratto successivo. Per i cambiamenti di direzione, già in epoca arcaica venivano utilizzati i bacini di *deviazione*, che di fatto avevano la funzione di giunto oltre che di sedimentazione e compensazione della pressione (Fig. 6).

Lungo il percorso degli acquedotti medicei in tubi di terracotta venivano posizionati i *bottini*, piccoli bacini murati che oltre al sezionamento del condotto svolgevano la funzione di pozzetto d'ispezione, il cui accesso era chiuso da una copertura in pietra detta appunto *chiusino* (Fig. 7).⁴⁷ La scarsa resistenza alla pressione dell'acqua suggeriva l'uso di diametri interni piuttosto piccoli, inferiori a 60 mm se impiegati in forti pendenze⁴⁸ e comunque, secondo D'Argenville, per pressioni non superiori a 20 piedi di colonna d'acqua, corrispondenti a circa 6 m.⁴⁹ Se disconnettere la condotta in corrispondenza di un bottino (Fig. 8) rappresenta la soluzione a possibili molteplici problemi, si può ritenere il bottino un elemento indispensabile alla funzionalità dell'acquedotto.

Un altro limite delle tubazioni in terracotta è che non si prestavano ad essere direttamente connesse a dispositivi che ne regolassero la portata. Era perciò necessario che questo compito venisse svolto da strutture intermedie, come ad esempio la stessa struttura di raccolta temporanea dell'acqua.

Nel caso di condotte in metallo i pozzetti potevano ospitare le valvole di sfiato dell'aria.

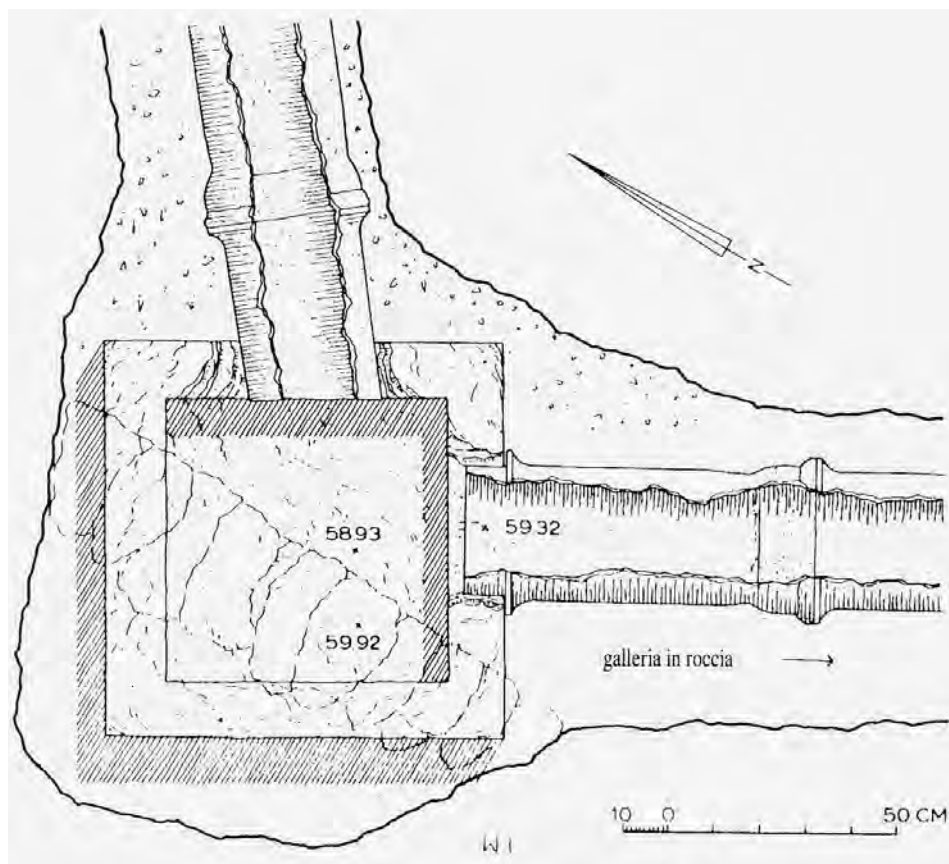
Dalla conserva l'acqua proseguiva sempre per gravità tramite altre linee verso le destinazioni per le quali era richiesta.⁵⁰

⁴⁷ I bottini si trovavano sia nel tratto che va dalla sorgente al giardino, sia all'interno del giardino. In corrispondenza delle sorgenti e delle intersezioni con rami secondari si trovavano i casini, piccole strutture con porta di accesso.

⁴⁸ Cfr. I. BECCHI, *Riesumare la gloria di Pratolino*, cit.

⁴⁹ Valore simile a quello indicato per il funzionamento dei getti nel Viale degli Zampilli, *ibid.*

⁵⁰ La conserva era l'invaso che riceveva per gravità l'acqua dell'acquedotto e poteva trovarsi sia lungo il percorso che a destinazione. La struttura era di solito interrata, pavimentata, impermeabilizzata e coperta per evitare contaminazioni e perdite per infiltrazione ed evaporazione. Le prese d'acqua erano opportunamente distanziate tra loro e posizionate ad un'altezza



6

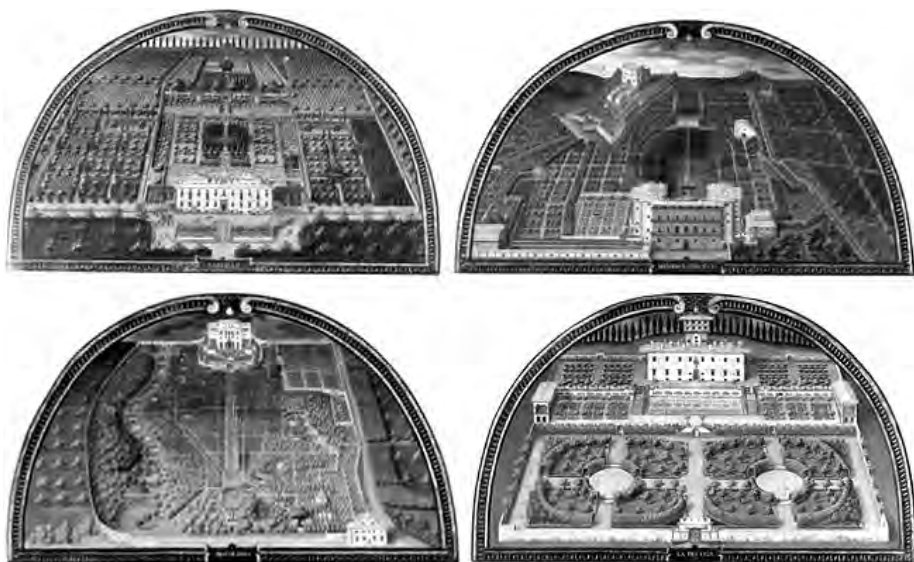


7

Fig. 6. Bacino di sedimentazione e di deviazione lungo l'acquedotto di Eupalino a Samo (da R. TOLLE-KASTENBEIN, *Archeologia dell'acqua, la cultura idraulica nel mondo classico*, cit., p. 120). Fig. 7. Bottino con chiusino in pietra. Foto di Cristina Bartolucci.



8



9

Fig. 8. Pozzetto d'ispezione lungo l'acquedotto romano di Reggio Emilia (<https://archeologiagallicisalpina.wordpress.com/2021/02/20/rinasce-lacquedotto-romano-di-reggio-emilia/>). Fig. 9. Giusto Utens (in senso orario), le lunette raffiguranti i giardini di Pratolino, Castello, Boboli e Petraia, 1599-1602, Firenze, Villa Petraia.

Nei giardini costruiti su versanti, come quelli delle ville di Boboli, Pratolino e Castello (Fig. 9), lo schema idraulico era fondamentalmente questo, con una peschiera situata nella parte bassa del complesso a raccogliere le acque.⁵¹

Nei bottini lungo gli acquedotti all'interno dei giardini trovavano alloggio vari tipi di valvole, dette chiavi o bronzine a seconda che regolassero il flusso sulle condotte o servissero per altri utilizzi connessi al regolare funzionamento delle strutture idrauliche.

ANNA MARIA LUISA DE' MEDICI E VILLA LA QUIETE

Il complesso della Quiete con annesso giardino è cronologicamente l'ultima dimora ascrivibile al sistema delle ville medicee, i cui principali giardini sono stati realizzati in un arco temporale di circa tre secoli. Anche qui il rapporto con l'acqua fu fin da subito stretto, crescendo progressivamente di importanza e nei fabbisogni per gli usi plurimi a cui era destinata.

A partire dal 1630, con la ristrutturazione voluta da Cristina di Lorena, la Quiete fu servita dall'acquedotto di Boldrone che si alimentava nelle vicinanze della struttura e che non richiese tecniche costruttive di particolare rilievo, data la brevità del percorso e il dislivello modesto fra le estremità.⁵² Destinato a *congregazione delle Montalve* nel 1650, l'Istituto della Quiete cominciò a soffrire della mancanza di acqua che solo con il soggiorno di Anna Maria Luisa de' Medici, dapprima in forma saltuaria e poi stabile,⁵³ vennero affrontati e risolti.

Nei 25 anni di permanenza nel Palatinato, Anna Maria Luisa venne probabilmente a contatto, tramite frequentazione diretta o scambi di informazioni con personaggi vicini alla famiglia de' Medici, con l'opera di artisti e illustratori scientifici di quel periodo. È perciò probabile che fosse

dal fondo della conserva tale da evitare l'erogazione di acqua contaminata dal sedimento accumulato. Le portate ottenibili dalle derivazioni tutte posizionate alla stessa profondità, dipendevano dall'ampiezza di ciascuna presa. La peschiera era un vaso che svolgeva una funzione simile alla conserva, ma era di solito più capiente, aperto e con scopo ornamentale. Poiché raccoglieva l'acqua rilasciata dalla conserva, la qualità era peggiore anche per la presenza di pesci, residui organici e minerali. La peschiera era di solito dotata di uno scarico con funzione di "troppopieno", detto risciacquatoio. A Pratolino l'acqua in eccesso veniva anche utilizzata per alimentare il mulino. L. ZANGHERI, *L'acqua a Pratolino*, cit.

⁵¹ Vedi *infra*, C. BIGAGLI.

⁵² Vedi *infra*, M.C. BARTOLUCCI.

⁵³ STEFANO CASCIU, *il giardino della Quiete nella committenza di Anna Maria Luisa dei Medici, Elettrice Palatina*, in GIORGIO GALLETI – TESSA MATTEINI (a cura di), *Il giardino di Villa La Quiete. Strumenti ed esplorazioni interdisciplinari per la conservazione attiva*, Firenze, Olschki, 2026.

a conoscenza delle opere di De Caus, così come è possibile che conoscesse la prima versione (1709) di *La théorie et la pratique du jardinage* di Dezallier d'Argenville.⁵⁴ Certamente già all'epoca delle Montalve erano attivi scambi con la corte di Luigi XIV tramite Carlo Antonio Gondi, l'ambasciatore a Parigi di Cosimo III tra il 1672 e il 1682. Più che sugli aspetti idraulici, l'attenzione di Gondi verso i giardini della reggia di Versailles era centrata sulle tecniche colturali, tra cui le innovazioni sull'innesto degli alberi da frutto e la coltivazione e allevamento degli agrumi, su cui Firenze poteva vantare una solida cultura.⁵⁵ Queste informazioni saranno raccolte da Jacopo Niccolò Guiducci, segretario particolare e tesoriere dell'Elettrice.⁵⁶

L'interesse specifico verso le tecniche colturali si può spiegare sia con il fatto che il giardino vero e proprio di Villa la Quiete era piccolo in confronto agli altri medicei, oltretutto sobrio nei giochi d'acqua che invece tanto significato avevano avuto soprattutto a Pratolino, sia perché la parte bassa era destinata alla coltivazione di ortaggi e alberi da frutto, irrigati a mano utilizzando l'acqua stoccata in orci regolarmente distribuiti al suo interno. In un contesto simile, non frequentato da visitatori da stupire e tenuto conto dell'organizzazione della congregazione che abitava la Villa, era naturale che si attingesse per quanto possibile all'esperienza secolare maturata in famiglia nell'ambito della progettazione e gestione dei giardini e delle infrastrutture a corredo. Si può interpretare così il fatto che Anna Maria Luisa per la realizzazione e la manutenzione del giardino si sia avvalsa, tra le altre, delle competenze dell'idraulico della villa di Castello e del giardiniere di Boboli, e come dagli altri giardini delle ville medicee giungesse alla Quiete materiale utile alla coltivazione,⁵⁷ inserendo come elemento di novità le informazioni tratte da *Théâtre des plans et jardinages*, un trattato di giardinaggio scritto da Claude Mollet, giardiniere reale di Versailles, pubblicato postumo nel 1652.⁵⁸

⁵⁴ Sulla costruzione delle opere di presa, le indicazioni che fornisce Dezallier al capitolo III "De la recherche des eaux avec la manière de les amasser" nel *Trattato di idraulica ad uso dei giardini*, dovevano essere presenti anche nella prima versione de *La théorie et la pratique du jardinage*. GABRIELE CAPECCHI, *Teoria, artificio e pratica nell'arte del "fontaniere"*, in *Il giardino di Boboli*, a cura di L.M. Medri, Milano, Silvana Editoriale, 2003, p. 264.

⁵⁵ Il Granducato di Cosimo III si svolse durante il periodo più freddo occorso negli ultimi 2000 anni, con inverni particolarmente rigidi che mettevano a rischio la coltivazione delle specie vegetali, come gli agrumi, sensibili alle basse temperature. Vedi *infra*, G. GHINASSI.

⁵⁶ DONATELLA PEGAZZANO, *Intorno all'Elettrice Palatina: Carlo Antonio Gondi e Jacopo Niccolò Guiducci cultori di piante e di giardini*, in G. GALLETTI – T. MATTEINI (a cura di), *Il giardino di Villa La Quiete*, cit.

⁵⁷ CATHERINE GOODRICH, *L'evoluzione storica del giardino nei documenti di Archivio*, *ibid.*

⁵⁸ D. PEGAZZANO, *Intorno all'Elettrice Palatina*, cit.

L'inevitabile incremento del fabbisogno di acqua dovuto anche all'irrigazione delle specie coltivate e alla necessità di un apporto continuo a fronte di esigenze variabili, portò alla costruzione, tra il 1725 e il 1732, di un acquedotto e di una conserva della capacità di 1395 m³, connessa alla struttura da una condotta in ferro con diametro esterno di 80 mm. L'accurata ricerca d'archivio svolta da Cristina Bartolucci,⁵⁹ integrata da sopralluoghi e rilievi in campo, ha fornito elementi per una ricostruzione piuttosto dettagliata dell'originario sistema di adduzione e stoccaggio alla Quiete.

L'ACQUEDOTTO DI VILLA LA QUIETE

Nell'ambito delle attività da svolgere per il restauro del giardino della Villa rientrava lo studio del sistema idraulico che la alimentava. La ricerca è consistita in sopralluoghi e nell'elaborazione delle informazioni ricavate, con rilievi sull'acquedotto che si sono concentrati sull'individuazione del suo percorso a partire dalla sorgente detta *delle Lepricine*.⁶⁰ I bottini trovati sul terreno sono stati quotati e geolocalizzati⁶¹ per utilizzarli come riferimenti superficiali, data anche l'impossibilità di accedere al loro interno (Fig. 10).

Si è assunto, al netto dei movimenti del terreno occorsi nei tre secoli precedenti, che l'andamento altimetrico dell'acquedotto corrispondesse alla spezzata individuata dall'unione delle sommità dei bottini, all'interno dei quali la condotta presumibilmente si disconnette.⁶² L'andamento planimetrico è segnato da variazioni di direzione in corrispondenza dei bottini, con brevi segmenti che galleggiano tra le curve di livello e che perciò hanno pendenze piuttosto modeste.⁶³

⁵⁹ Vedi *infra*, M.C. BARTOLUCCI.

⁶⁰ Dalla relazione e dal disegno dell'architetto Pietro Berti si deduce che la struttura dell'opera di presa, presumibilmente in muratura, si trovasse a circa 2 m al disotto del piano di campagna, fosse costituita da una galleria filtrante che intercettava la falda su una lunghezza di 10 m e da cui l'acqua finiva in una canaletta che la scaricava in un bacino di sedimentazione di diametro 2 m e profondo 4 m. Da qui l'acqua proseguiva lungo un'altra canaletta da cui si immetteva nell'acquedotto a *doccioni di terracotta* per arrivare alla conserva grande in prossimità della Villa. L'accesso alla struttura per le operazioni di sorveglianza e manutenzione, tra cui la pulizia del contenitore, doveva avvenire attraverso un pozzetto adiacente da cui era possibile, attraverso un'apertura, intervenire sulla struttura. Vedi *infra*, C. BONIN.

⁶¹ Per la localizzazione piano altimetrica è stato usato un GPS su smartphone di cui non è noto il margine di incertezza.

⁶² A supporto di questa ipotesi sono le testimonianze che rivelano come l'acquedotto fosse ancora funzionante nella seconda metà del secolo scorso e che si verificassero prelievi lungo il percorso, possibili solo attingendo dai bottini.

⁶³ Vedi *infra*, M.C. BARTOLUCCI.



Fig. 10. Bottino con chiusino in pietra lungo l'acquedotto di Villa la Quiete. Foto di Cristina Bartolucci.

Secondo le risultanze d'archivio, l'acquedotto è in tubi di terracotta a doccioni con diametro interno di 80 mm,⁶⁴ posati a una profondità di 9 braccia fiorentine (circa 5 m) probabilmente utile a mitigare gli effetti del clima di quel periodo.

Lungo i 946 m di percorso dell'acquedotto⁶⁵ e i circa 50 m di dislivello tra la sorgente e la conserva, si sono contati 16 bottini, 15 dei quali in destra

⁶⁴ Con riferimento al tratto iniziale dell'acquedotto, la perizia dell'architetto Pietro Berti (AMQ, Affari spediti, 42, fascicolo 28, "Condotti dell'acqua. Relazioni e Perizie dell'architetto Pietro Berti") parla di «galleria ove riversasi il tubo che conduce le acque al nostro Istituto e che casca a collo d'oca nel pozzo D. Il tubo è all'interno mm 80».

⁶⁵ Secondo i riferimenti storici, l'acquedotto è lungo 1100 braccia (circa 642 m), distanza che corrisponde a quella che intercorre tra il primo bottino in destra del Fosso delle Masse e l'ultimo prima della conserva. Questa fa supporre che per i due tratti di estremità, cioè quello dalla sorgente al primo bottino e dall'ultimo alla conserva, possano essere stati seguiti criteri costruttivi diversi e per ciò da considerare separatamente.

del Fosso delle Masse a coprire un dislivello di circa 20 m tra i due bottini di estremità. Verso la conserva, dove la morfologia è più regolare, le ultime due sezioni dell'acquedotto sono le più lunghe (150 e 116 m) e con pendenze tali da non creare carichi non sopportabili dal materiale (circa 6 m) in caso di occlusione totale della condotta in prossimità dello sbocco.

Per comprendere le caratteristiche dell'acquedotto in condizioni di normale funzionamento, si è impostata una simulazione a partire dallo sviluppo altimetrico rilevato e dalla portata della vicina sorgente che alimentava l'acquedotto di Valcenni (quasi 1 litro al secondo). Con il carico generato nel tratto di acquedotto a minore pendenza (2% circa), il tubo con diametro di 80 mm può convogliare una portata di oltre 6 litri al secondo, che diventano 19 nel tratto in uscita dalla sorgente che ha pendenza intorno al 15%. Questo significa che, nelle condizioni ipotizzate, l'acqua fluisce sempre "a canaletta", ovvero a pressione atmosferica come in un condotto aperto.⁶⁶

Dalle ipotesi fatte emerge quindi come l'acquedotto fosse stato concepito per essere funzionale nel trasporto e sicuro dal punto di vista idraulico. D'altra parte la tecnica costruttiva sembra rimandare a quella utilizzata a Pratolino, come ad indicare la volontà dell'Elettrice di usufruire della conoscenza acquisita in famiglia nei tre secoli di "*pratica e scientia*" e che probabilmente De Caus aveva in parte riportato in *Les raisons des force mouvantes*.

La mancanza di informazioni di dettaglio sulle caratteristiche degli acquedotti lungo tutto il loro percorso, in particolare su quello a servizio di Villa la Quiete, è servita da stimolo per formulare, con la necessaria cautela, alcune ipotesi interpretative che hanno preso spunto dalle notizie di carattere prevalentemente storico, disponibili grazie soprattutto al grande lavoro fatto da Luigi Zangheri. Ne consegue che i risultati ottenuti andrebbero supportati da ricerche ulteriori che dovrebbero prevedere anche indagini mirate, in grado di superare una volta per tutte il campo delle ipotesi e costituire la base di un programma di ricerca strutturato e applicabile, se necessario, agli altri acquedotti medicei di epoca rinascimentale.

⁶⁶ Per 1 litro al secondo sarebbe sufficiente un diametro di 40 mm nel tratto a minore pendenza, diametro che nel primo tratto porterebbe 3 litri al secondo.

FINITO DI STAMPARE
PER CONTO DI LEO S. OLSCHKI EDITORE
PRESSO ABC TIPOGRAFIA • CALENZANO (FI)
NEL MESE DI APRILE 2026

Il tema della conoscenza, cura e conservazione dei sistemi idraulici storici costituisce un aspetto cruciale nel restauro di un giardino: per affrontarlo, al di là delle imprescindibili indagini dirette e indirette, è necessario contestualizzare la ricerca all'interno di un più ampio orizzonte di riferimenti interdisciplinari. Questo volume – espressione del lavoro realizzato dal laboratorio di ricerca *per e sul* giardino di Villa La Quiete, a seguito del restauro su fondi PNRR – raccoglie una selezione di contributi specialistici sui giardini medicei, *in primis* quello di Luigi Zangheri, oltre agli esiti degli studi svolti dal gruppo di ricercatori e ricercatrici che hanno lavorato in archivio e sul campo per approfondire le conoscenze sul sistema idraulico del giardino delle Montalve. L'intreccio tra riflessioni teoriche, rilievi e sperimentazioni *in vivo* è sembrata l'unica modalità per riuscire ad affrontare la complessità di un luogo patrimoniale vivente e in evoluzione come il giardino di Villa La Quiete. Come annotava Dezallier d'Argenville nella prima metà del Settecento: «La theorica niente senza la pratica».

