





EX FABRICA ET RATIOCINATIONE:  
TÉCNICAS, TECNOLOGÍAS E INNOVACIÓN  
EN LA ARQUITECTURA ANTIGUA

Volumen II

ADALBERTO OTTATI y MARIA SERENA VINCI  
(Coordinadores)

RO  
MV  
LA

20  
2021

SEMINARIO DE ARQUEOLOGÍA  
UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE. SEVILLA

ROMVLA

Revista del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

La revista ROMVLA es una publicación científica de carácter anual dedicada fundamentalmente a la publicación de trabajos de investigación inéditos en el campo de la Arqueología, con especial atención a la Arqueología de la provincia de Sevilla y su entorno. Igualmente actúa como órgano de difusión científica del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla lo que incluye la difusión de los resultados de los diferentes Proyectos de Investigación que se desarrollan en el mismo.

Número 20. 2021

Revista indexada en: Index Islamicus, DIALNET, LATINDEX. Catálogo v1.0 (2002 - 2017).

*Directores:* Rafael Hidalgo (Universidad Pablo de Olavide)  
Pilar León-Castro (Universidad de Sevilla)

*Secretarias:* Inmaculada Carrasco (Universidad Pablo de Olavide)  
Ana María Felipe

#### *Comité de redacción*

A. Corrales (Universidad Pablo de Olavide), C. Fabiao (Universidade de Lisboa), P. Mateos (Instituto de Arqueología de Mérida. CSIC), C. Márquez (Universidad de Córdoba), T. Nogales (Museo Nacional de Arte Romano de Mérida), P. Ortiz (Universidad Pablo de Olavide), A. Ottati (Universidad Pablo de Olavide), I. Sánchez (Universidad Pablo de Olavide), F. Teichner (Universität Marburg), S. Vargas (Universidad de Sevilla), S. Vinci (UNED).

#### *Comité científico*

L. Abad (Universidad de Alicante), A. Arévalo (Universidad de Cádiz), F. Arnold (Deutsches Archäologisches Institut. Madrid), J. Beltrán (Universidad de Sevilla), M. Bendala (Fundación Pastor, Spain), J. Campos (Universidad de Huelva), H. Catarino (Universidade de Lisboa), H. Dessales (École Normale Supérieure de Paris), M. C. Fuertes (Consejería de Cultura. Junta de Andalucía), P. Gros (Université de Aix-en-Provence), J. M. Gurt (Universidad de Barcelona), H. V. Hesberg (Deutsches Archäologisches Institut. Roma), J. L. Jiménez Salvador (Universidad de Valencia), S. Keay (University of Southampton), M. Kulikowski (University of Tennessee-Knoxville), G. López Monteagudo (CSIC), J. M. Luzón (Universidad Complutense de Madrid), R. Mar (Universidad Rovira i Virgili), W. Mierse (University of Vermont), B. Mora (Universidad de Málaga), P. Moret (Université de Toulouse-Le Mirail), M. Orfila (Universidad de Granada), S. Panzram (Universität Hamburg), P. Pensabene (Università di Roma La Sapienza), Y. Peña (UNED), A. Pérez-Juez (Boston University in Spain), A. Pizzo (Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma-CSIC), F. Quesada (Universidad Autónoma de Madrid), A. M. Reggiani (Ministero per i Beni e le Attività Culturali), P. Rodríguez Oliva (Universidad de Málaga), P. Rouillard (CNRS. Maison René-Ginouès. Nanterre), M. A. Tabales (Universidad de Sevilla), T. Tortosa (Instituto de Arqueología de Mérida CSIC), W. Trillmich (Deutsches Archäologisches Institut), A. Ventura (Universidad de Córdoba), A. Viscogliosi (Università di Roma La Sapienza).

*Patrocinada:* Vicerrectorado de Investigación, Transferencia y Doctorado de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla

#### *Edición, publicación y distribución*

Seminario de Arqueología  
Universidad Pablo de Olavide de Sevilla  
Carretera de Utrera, km. 1 · 41013 Sevilla (España)  
Telf.: 954 977 932 • E-mail: romula@upo.es

#### *Dirección y redacción*

Seminario de Arqueología  
Universidad Pablo de Olavide de Sevilla  
Carretera de Utrera, km. 1 · 41013 Sevilla (España)

*Diseño:* Diseño y Comunicación S.L.

*Maquetación e impresión:* Imprenta SAND, S. L. · [www.imprentasand.com](http://www.imprentasand.com)

*Depósito Legal:* SE-075-04

ISSN: 1695-4076



© 2020 "Romula". Revista del Seminario de Arqueología de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

Las opiniones y comentarios expuestos por los autores de las colaboraciones recogidas en la revista son responsabilidad exclusiva de los mismos. Esta publicación estará disponible online a través de la plataforma de Revistas Científicas de la Universidad Pablo de Olavide. La difusión de los trabajos publicados se registrará de acuerdo con la licencia Creative Commons by-nc-sa. En todo caso, se mencionará siempre que el trabajo ha sido publicado originalmente en la revista ROMVLA.

# Í N D I C E

<b>PROGETTAZIONE INTEGRALE A VILLA ADRIANA</b> <b>INTEGRAL DESIGN AT HADRIAN'S VILLA</b> Giuseppina E. Cinque	7
<b>I PILASTRI CAVI A VILLA ADRIANA</b> <b>HOLLOW PILLARS AT HADRIAN'S VILLA</b> Elena Eramo	57
<b>PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA A VILLA ADRIANA</b> <b>THE BIOCLIMATIC DESIGN OF HADRIAN'S VILLA</b> Cristina Renzoni	83
<b>VILLA ADRIANA E L'AMBIZIONE DI REALIZZARE L'IMPOSSIBILE. TECNICHE</b> <b>CONSTRUTTIVE SPERIMENTALI AL SERVIZIO DI FORME ARCHITETTONICHE INEDITE</b> <b>HADRIAN'S VILLA AND THE AMBITION TO ACHIEVE THE IMPOSSIBLE.</b> <b>EXPERIMENTAL CONSTRUCTION TECHNIQUES AT THE SERVICE OF</b> <b>UNPRECEDENTED ARCHITECTURAL FORMS</b> Adalberto Ottati	111
<b>IMPIANTI, TECNOLOGIA E BENESSERE IN ARCHITETTURA: DALLA PRATICA</b> <b>STORICA ALLA CODIFICA TEORICA PER NUOVE PROSPETTIVE DI RECUPERO</b> <b>PLANTS, TECHNOLOGY, AND WELL-BEING IN ARCHITECTURE: FROM</b> <b>HISTORICAL PRACTICE TO THEORETICAL CODING FOR NEW PERSPECTIVES</b> <b>OF RECOVERY</b> Valentina Florio	151
<b>DALLA CONSERVAZIONE ALL'INNOVAZIONE: PIATTABANDE E ARCHITRAVI</b> <b>LITICHE NEL "FORO PROVINCIALE" DI TARRACO (HISPANIA CITERIOR)</b> <b>FROM CONSERVATION TO INNOVATION: LINTEL ARCHS AND STONE LINTELS</b> <b>FROM THE "PROVINCIAL FORUM" IN TARRACO (HISPANIA CITERIOR)</b> Maria Serena Vinci	179
<b>L'ORGANISATION DU TRAVAIL AUTOUR DE LA PIERRE A CORDOUE AU IIEME</b> <b>SIECLE AV. J.-C. DEMOGRAPHIE, AGRICULTURE ET CHAINE OPERATOIRE</b> <b>THE ORGANISATION OF LIMESTONE LABOUR IN CORDOBA DURING IIND</b> <b>CENTURY B.C. DEMOGRAPHY, AGRICULTURE AND OPERATIONAL CHAIN</b> Christopher Courault	205

**LAS MURALLAS REPUBLICANAS DE TARRACO, ASPECTOS CONSTRUCTIVOS**  
**THE REPUBLICAN TOWN WALLS OF TARRACO, CONSTRUCTIVE ASPECTS**

Joan Menchón Bes

251

**DALLA PRATICA ANTICA ALLE FABBRICHE DI ETÀ MODERNA: STRUMENTI**  
**DA LAVORO E TECNOLOGIA EDILIZIA A ROMA TRA PERMANENZA E**  
**PERFEZIONAMENTO**

**FROM ANCIENT CONSTRUCTION PRACTICES TO MODERN-AGE BUILDING**  
**SITES: WORK TOOLS AND BUILDING TECHNOLOGIES IN ROME BETWEEN**  
**PERMANENCE AND IMPROVEMENT**

Nicoletta Marconi

291

## **PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA A VILLA ADRIANA**

### **THE BIOCLIMATIC DESIGN OF HADRIAN'S VILLA**

**Cristina Renzoni**

Università degli Studi di Roma, Tor Vergata

#### **Riassunto**

E' noto come l'architettura antica fosse progettata in stretta relazione con il contesto ambientale di inserimento (clima, venti), e come gli elementi naturali (vegetazione, acqua) fossero sapientemente integrati nella progettazione per innescare effetti benefici per l'ambiente costruito e, di conseguenza, per il benessere dei fruitori. Così è definita una progettazione bioclimatica. Nella letteratura tecnologico-specialistica che affronta il tema è assente Villa Adriana, un esempio formidabile di integrazione tra tecniche e arti. L'articolo analizza il rapporto architettura-ambiente della Villa imperiale tiburtina, approfondendo le principali soluzioni progettuali che vedono una eccezionale integrazione tra soluzioni tecniche, formali e la predisposizione di effetti scenografici.

**Parole chiave:** Villa Adriana, progettazione bioclimatica, architettura sostenibile.

#### **Abstract**

It is known how ancient architecture was designed in close relationship with the environmental context (climate, winds). In addition, the natural elements (vegetation, water) were wisely integrated into the design to trigger beneficial effects for the built environment and, consequently, for the users' well-being. This is how a bioclimatic design is defined. Hadrian's Villa is absent from the technological-specialist literature that deals with the topic, although it represents an exceptional example of integration between techniques and arts. The article analyses the architecture-environment relationship of the Tiburtine Imperial Villa by examining the main design solutions that see an exceptional integration between technical solutions, formal ones, and the creation of scenographic effects.

**Key words:** Hadrian's Villa, bioclimatic design, sustainable architecture

“Egli [Socrate] era del parere che queste case fossero belle e utili, e a me sembrò che egli ci volesse insegnare come si deve costruirle. Il suo ragionamento era il seguente: se qualcuno volesse costruirsi una casa così come questa dovrebbe essere [secondo le regole], non dovrebbe attrezzarla in modo che vi si possa vivere comodamente e con funzionalità? Dopo aver noi approvato quanto egli andava dicendo, continuava: non è una comodità se la casa è fresca in estate e calda in inverno? Detto in breve: questa dovrebbe essere veramente la dimora più bella e più confortevole, in cui sentirsi a proprio agio in tutte le stagioni e in cui vivere più al sicuro”<sup>1</sup>.

L'architettura antica di sovente svela un modo di edificare secondo cui è possibile interpretare l'edificio come un elemento organico nel quale il benessere dei fruitori è assicurato dalla previsione –e quindi dall'uso sapiente e consapevole– di come ogni sua parte risponda all'ambiente esterno. Pertanto, dagli spazi aperti attorno ai fabbricati, all'involucro costruito, con le sue aperture, fino alla distribuzione interna degli ambienti e al più piccolo dettaglio, il progetto non era redatto per scomparti separati, bensì con tutte le sue parti coordinate affinché i fruitori potessero godere, in ciascun ambiente, delle migliori condizioni, funzionali e ambientali<sup>2</sup>. In particolare, il microclima degli ambienti veniva spesso gestito dall'integrazione tra sistemi attivi e passivi, tale da permettere il raggiungimento di un comfort termico.

1. Senofonte, in Bux, 1956, 333.

2. A tal proposito, nella trattatistica greca l'esempio più noto perviene da Ippocrate che nel suo trattato "Sull'aria, sull'acqua e sui luoghi" (Peri aeròn udaton topon) descrive quei principi che oggi costituiscono il prologo dell'architettura bioclimatica. Nel mondo romano non si può omettere Vitruvio che nel suo trattato al L. I, non è parco di indicazioni in merito alla scelta del luogo dove costruire, con riferimento alla salubrità, ottenibile anche dall'orientamento (successivamente, IV, 1, anche in relazione alle differenze di clima). Medesime considerazioni sono espresse anche per la costruzione delle strade, I, 6: "si farà il tracciato delle vie e dei vicoli, orientato secondo gli angoli, fra due regioni di vento contigue. Con questo sistema d'orientamento si riuscirà ad eliminare da case e strade il molesto impeto dei venti". Parametri, questi ultimi che, in età moderna, saranno ripresi da Alberti 1782 [1550], IV, V: "Scrive Cornelio che la città di Roma allargata di strade da Nerone divenne assai più calda, e perciò manco sana; in altri luoghi ove le vie sono strette vi è l'aria più cruda, e ne la state va sarà più ombra. Oltre di questo non vi sia casa alcune che è non vi entri dentro il sole, in qualche hora del giorno; ne sarà mai senza piacevole ventolino che movendosi dove si veglia, non trovi in gran parte diritto, e espedito camino, onde passare. Et la medesima non sentirà mai venti fastidiosi, con cio sia che subito saranno rotti dalle facciate delle muraglie". Ancora, Vitruvio si esprime sulla costruzione degli edifici pubblici,

V, 1, "conviene che le basiliche siano costruite vicino ai fori e nelle esposizioni più calde, affinché durante l'inverno gli uomini d'affari vi si possano recare senza fastidi provocati dalle intemperie"; 3 "Per i teatri] bisognerà cercare dunque un sito non esposto a mezzogiorno. Infatti, quando il sole riempirà la cavea del teatro, l'aria racchiusa dalla curvatura non avendo la possibilità di circolare, rigirandosi su di sé stessa, si riscalda col calore del sole" e IV, 1, [Per le terme] bisogna scegliere un sito che sia il più caldo possibile, non esposto a settentrione né ad aquilone [nord-est]. I calidari e i tepidari debbono ricevere la luce dall'occidente invernale e qualora la natura del luogo lo impedisce, dal mezzogiorno, poiché il tempo del bagno è soprattutto compreso mezzogiorno e il tramonto", e per gli ambienti delle abitazioni private, VI, 4, "i triclini d'inverno e i bagni debbono guardare all'occidente invernale così da sfruttare la luce del pomeriggio e anche perché il sole che volge al tramonto diffondendo la luce frontalmente e mandando calore, rende tale esposizione più tiepida. [...] Le biblioteche e le stanze private debbono essere disposte ad oriente, infatti il loro uso richiede la luce del mattino così i libri nelle biblioteche non si deteriorano. Infatti in quelle disposte a mezzogiorno e ad occidente i libri vengono danneggiati dalle tignole che nascono e crescono nell'umidità [...] I triclini di primavera e d'autunno debbono essere disposti ad oriente infatti, essendo esposti alla luce, muovendosi il sole verso occidente, questo li rende temperati nelle ore in cui di



Se già, dunque, la valutazione degli accorgimenti tecnologici posti in essere nell'antico assume un ruolo rilevante per lo studio dell'architettura tramandata dal passato, la sua importanza non varia ai giorni attuali –dopo che la post-industrializzazione ha messo a nudo gli effetti dannosi della perdita del vitale connubio tra costruito e ambiente– il controllo del microclima interno con sistemi passivi è, infatti, indispensabile per realizzare edifici sostenibili. In tal senso, quindi, rivolgere lo sguardo alle soluzioni tecniche adottate nell'antico permette anche di validare possibili soluzioni oggi adottabili, ovvero di verificare quali, tra le tante, hanno contribuito ai dannosi cambiamenti climatici che oggi richiedono la massima attenzione. D'altro canto tali tecnologie, spesso decantate dall'attuale letteratura bioclimatica, sono assai poco valutate all'interno degli studi a carattere archeologico, in quanto nell'essere per lo più progettate esclusivamente a fini funzionali, venivano di sovente dissimulate e celate da elementi architettonici.

La progettazione bioclimatica nell'antico è una tematica ricorrente nella letteratura tecnologico-specialistica, sorta dall'ultimo decennio del secolo scorso e perlopiù incentrata alla comprensione, in chiave ambientale, delle opere di progettazione delle civiltà che abitavano i territori mediterranei. Tale letteratura è ricca di informazioni con riferimento alla storia, prevalentemente con richiamo ai casi più comuni e noti (pe. i giardini egizi), con i maggiori richiami al tardo antico e, in particolare, ai casi delle dinastie tardo ellenistiche mediorientali (dal VI sec. d.C.) e, successivamente, dalle esperienze poste in essere nel mondo islamico. Solo di recente si assiste al fiorire di pubblicazioni più specifiche<sup>3</sup>, molte delle quali per lo più versate alla definizione delle variazioni climatiche, sebbene non particolarmente puntuali nel riconoscimento di sistemi bioclimatici. Eppure, all'osservare quanto emerge dalle ricerche sviluppate nei territori interessati dal mondo ellenistico, appaiono esempi significativi che, trasversalmente interessati dal mondo scientifico greco, possono essere rintracciati nell'architettura adrianea e, in particolare nella massima sperimentazione del pensiero architettonico di Adriano, ossia la sua Villa tiburtina.





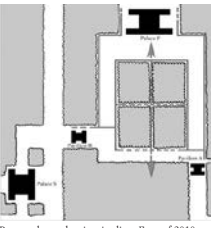
Villa Adriana, infatti, comprende molti di quegli elementi che consentono la comprensione di una progettazione integrata con i dati ambientali del contesto di inserimento, una tematica cruciale nel crescente interesse ambientale del mondo odierno.

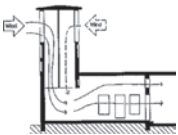
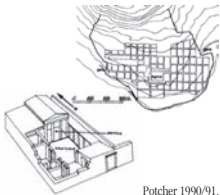



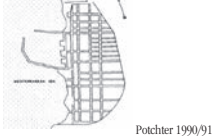

solito vengono usati. [...] I triclini d'estate invece debbono essere orientati a settentrione perché questa esposizione non si riscalda come le altre nel solstizio, e poiché si trova in posizione opposta al corso del Sole è sempre refrigerata cosicché si prova piacere a starci. La stessa esposizione debbono avere le pinacoteche, i laboratori di tessitura, di ricamo e le botteghe dei pittori, perché i colori messi in

opera, per essere la luce costante, mantengono immutata la loro qualità", oltreché per le ville rustiche. Quest'ultimo tema, peraltro, già diffusamente affrontato da Catone, *De Agricultura*, da Varrone, *Res rusticae* e da Columella, *De re rustica*, che nelle loro opere sottolineano alcuni principi bioclimatici fondamentali.

**3.** In particolare il saggio di MALAPERDAS, 2019.

**Tabella 1.** La progettazione bioclimatica e l'antico: aree di interesse dei principali studi, in ordine cronologico (autore).

	Bacino geografico	Riferimenti progettuali di bioclimatica	Riferimenti bibliografici	Riferimenti iconografici
Antico Egitto 3900-332 a.C.	Egitto	<p><b>Giardini</b>  <b>Struttura:</b> recintati da mura, spesso suddivisi in unità più piccole recintate (anche su diverse quote), con portici e colonnati; giardino e palazzo potevano non avere lo stesso asse.  <b>Vegetazione:</b> filari regolari di alberi; piante acquatiche coltivate in terrazze nei bordi delle vasche.  <b>Acqua:</b> vasche (rettangolari o a T), anche funzionali all'irrigazione, erano spesso affiancate da chioschi o case estive, e circondate da pergole; in una raffigurazione, un'isola edificata è posta all'interno di una grande vasca.</p>	Wilkinson 1989 Evyasaf 2010	 <p>Modelo di portico e giardino 1981-1975 a.C. circa, Egitto.</p>
		<p><b>Torre del vento (malqaf)</b>  Prismi triangolari posti in copertura, uno con apertura rivolta al vento e l'altro sottovento, erano funzionali ad evacuare l'aria per aspirazione (<b>ventilazione naturale</b>). Se orientati entro 10 gradi dalla direzione del vento il loro funzionamento è ottimizzato.</p>	Roaf 1990	 <p>Abitazione nell'Antico Egitto, Nordisk familjebok, 1905, vol.4, Till art. Byggnadskonst.</p>
Impero babilonese 1895-539 a.C.	Siria, Iraq (Mesopotamia)	<p><b>Giardini pensili di Babilonia</b>  <b>Struttura:</b> Berossio descrive un giardino con mura altissime sorrette da pilastri di pietra, e riempito da ogni sorta di alberi, realizzato da Nabucodonosor II per farlo somigliare ad un paese montuoso in onore della sua consorte, Amytis, cresciuta nella montuosa città di Media. Diodoro Siculo ne descrive la forma quadrata, definita da mura in mattoni spesse 6.7 metri (22 piedi), e i molteplici livelli, alle cui basi la profondità crescente permetteva alle radici delle piante di crescere, irrigate dall'acqua dell'Eufrate.</p>	Diodorus Siculus II.10-1-10 Dalley 1994	 <p>Portico simbolo di un palazzo reale assiro, affiancato da un giardino che imita un paesaggio montano. Copia di bassorilievo, palazzo di Sargon, Nimrud.</p>
		<p><b>Giardini pensili di re Sennacherib (704-681 a.C.), Ninive</b>  Identificati da Dalley come i giardini di Babilonia. <b>Tecnologie idriche</b> per l'irrigazione permisero di avere acqua agli alti livelli del giardino: canali si estendevano per oltre 50 km nelle montagne, paratoie automatiche alla sorgente di Bavian, un acquedotto di grandi dimensioni, archi in pietra e cemento impermeabile, attraversava la valle di Jerwan (vedi rif. iconografico).</p>	Dalley 1993 Foster 2004	 <p>Copia di bassorilievo dal Palazzo Nord di Assurbanipal (669-631 a.C.), Ninive.</p>
Impero achemenide, primo impero persiano 550 a.C., fondato da Ciro il Grande - 331 a.C., Alessandro Magno conquista la Macedonia	Grecia, Tracia, Anatolia, Egitto, Palestina, Mesopotamia, Persia, Afghanistan, Battria	<p><b>Pasargadae</b> palazzo e giardino reale <b>Struttura:</b> un giardino (antico persiano <i>pairadazea</i>) di ca 100 ettari circondava palazzo e padiglioni, mentre tra di essi era collocato un giardino "formale" diviso in 4 quadranti da un canale d'acqua e un viale (in asse con palazzo). La pianta quadripartita funge da rappresentazione simbolica dell'impero: Ciro si autoproclamò Re dei Quattro Angoli del Mondo. <b>Vegetazione:</b> filari di alberi ad angolo retto, fiori profumati, anche piantati in aiuole.  <b>Acqua:</b> canali d'acqua in pietra che, ad intervalli costanti, si allargavano in vasche quadrate.</p> <p>Senofonte introduce la forma greca di <i>pairadazea</i> = <i>paradeisos</i>, nel vocabolario del nascente mondo ellenistico.</p>	Senofonte, Oec. 4.13, IV, 20-24 Stronach 1994 Evyasaf 2010	 <p>Pasargadae, palazzi e giardino, Evyasaf 2010.</p>

	Bacino geografico	Riferimenti progettuali di bioclimatica	Riferimenti bibliografici	Riferimenti iconografici
		<p><b>Torre del vento (bádgir)</b></p> <p>Torri a pianta rettangolare con una, quattro o otto aperture (rispetto alla direzione dei venti); spesso dotati di bacini di acqua (raffrescamento evaporativo).</p> <p>Elemento tradizionale ancora in uso.</p>	Roaf 1990 Ighany 2008 Suleiman e Himm 2012	 <p>Torre del vento multirezionale, sezione, SKAT 1993.</p>
<p><b>Impero macedone o ellenistico, Alessandro Magno</b> 331-311 a.C., guerre dei Diadochi e divisione dell'Impero</p>	<p>Penisola balcanica, Medio Oriente, Asia centrale, Egitto</p>	<p><b>Priene</b></p> <p><u>Localizzazione</u>: versante sud del monte per proteggere dai venti da nord e aumentare l'esposizione al sole.</p> <p><u>Principio di costruzione solare delle case</u>: camere principali rivolte a sud e protette da un portico, per lasciar passare i bassi raggi invernali e ostacolare i più alti raggi estivi; i muri più spessi sono esposti a sud per aumentare l'assorbimento di calore; conformazione con corte interna.</p>	Potchter 1990/91	 <p>Potchter 1990/91.</p>
		<p><b>Giardini reali</b></p> <p>Secondo Polibio (31, 29, 1-8) i re macedoni avevano grandi parchi di caccia che erano probabilmente influenzati dai <i>paradeisos</i> persiani.</p>	Bedal 2004	
<p><b>Egitto tolemaico</b> 305 a.C., Tolomeo I - 30 a.C. conquista romana</p>	Egitto	<p><b>Giardini reali</b></p> <p>Tolomeo I, che fece realizzare il palazzo Basilea ad Alessandria, fu influenzato dai palazzi e giardini persiani che vide durante il viaggio con Alessandro Magno, quanto suo <i>somatophylax</i> (guardia reale).</p>	Nielsen 1994 e 1996	
<p><b>Regno di Giudea, dinastia degli Asmonei</b> 140 - 63 a.C., conquista romana</p>	Giudea, Samaria, Idumea, Perea, Galilea, Iturea	<p><b>Palazzi d'inverno degli Asmonei, Gerico</b></p> <p>I palazzo, Giovanni Ircano I: giardino accanto al palazzo, con due piscine con scale per nuotare.</p> <p>Il palazzo, Alessandro Ianneo: secondo uno stesso asse di simmetria nord-sud erano disposti un padiglione, due vasche gemelle, con delle scale per nuotarvi, e un vasto giardino con peristilio (60x70 m).</p>	Netzer 1995, 1999 e 2001	 <p>Il palazzo a Gerico, ricostruzione, Netzer 1999.</p>
<p><b>Regno di Giudea, Erode il Grande</b> 37 - 4 a.C.</p>	<p>Giudea, Samaria, Idumea, Perea, Galilea, Iturea, Gaulanitide, Traconitide, Batanea, Auranitide</p>	<p><b>Palazzo di Ircano a Tiro (Iraq el-Amir)</b></p> <p>Palazzo realizzato in un'isola al centro di un lago artificiale di ca 6 ettari, nel cuore di un parco. Realizzato da un vassallo dei re tolemaici, all'inizio del II secolo a.C.</p>	Flavio Giuseppe, AJ XII, 230-3 Lapp 1980 Netzer 2000	 <p>Lapp 1980.</p>
		<p><b>Herodium</b></p> <p>Una grande terrazza-giardino (105 x 125 m) alla base della fortezza include una piscina monumentale (72 x 46 m) con un piccolo padiglione rotondo a isola.</p>	Netzer 1981	
		<p><b>Cesarea</b></p> <p>Le strade erano orientate perpendicolarmente alla costa (EO) per favorire la circolazione della brezza marina in estate.</p>	Potchter 1990/91	 <p>Potchter 1990/91</p>
<p><b>Regno nabateo</b> IVsec. a.C. - 106 d.C., conquista romana</p>	Giordania, Arabia, Palestina, Siria, Egitto	<p><b>Petra (I sec. a.C.), Complesso della Piscina</b></p> <p>Isola-padiglione rettangolare (11.5 x 14.5 m) in una vasca (43 x 23 m, profondità 2.5 m) rivestita con uno spesso strato di cemento, con gradini verso il fondale e una passeggiata lastricata intorno al perimetro. I canali che correvano lungo il perimetro della vasca, parte di un sistema idrico con <i>castellum divisorium</i>, erano funzionali all'irrigazione del giardino circostante. Rifacimenti nel periodo romano, inizio II sec. d.C.: da privato a complesso pubblico, come rifugio rinfrescante dal caos urbano.</p>	Bedal 2001 Kanellopoulos e Akasheh 2001	 <p>Mappa del centro di Petra, dettaglio del Complesso con piscina e giardino, Kanellopoulos e Akasheh 2001.</p>

## SISTEMI E TECNOLOGIE BIOCLIMATICHE: UNO SGUARDO AI PRINCIPI REGOLATORI

Nell'ambito della progettazione bioclimatica, al momento attuale vengono definiti *sistemi passivi* quelli che consentono un naturale controllo del microclima, per efficienti scambi termici tra edificio e ambiente, sfruttando unicamente l'energia solare; altresì sono *sistemi attivi* quelli basati su azioni specifiche, come l'accendere il fuoco in un braciere.

Le principali componenti delle strategie della progettazione bioclimatica che legano l'edificio al suo contesto ambientale, la cui adozione non è consigliata singolarmente, sono elencabili in (*fig. 1*):

- a. esposizione dell'edificio, quindi disposizione delle sue aperture esterne, per il controllo di irraggiamento solare e ventilazione;
- b. dimensionamento degli spessori murari, per il controllo del microclima interno;
- c. forma dell'edificato, per il controllo di scambi termici e ventilazione;
- d. presenza di corti interne e porticati, in quanto regolatori termici;
- e. presenza di acqua, per il raffrescamento passivo evaporativo;
- f. presenza di vegetazione, in quanto regolatore termico;
- g. presenza di ambienti ipogei e semipogei, per il raffrescamento passivo geotermico;
- h. uso di torri del vento, per migliorare la ventilazione interna.

### **a. Esposizione, aperture esterne**

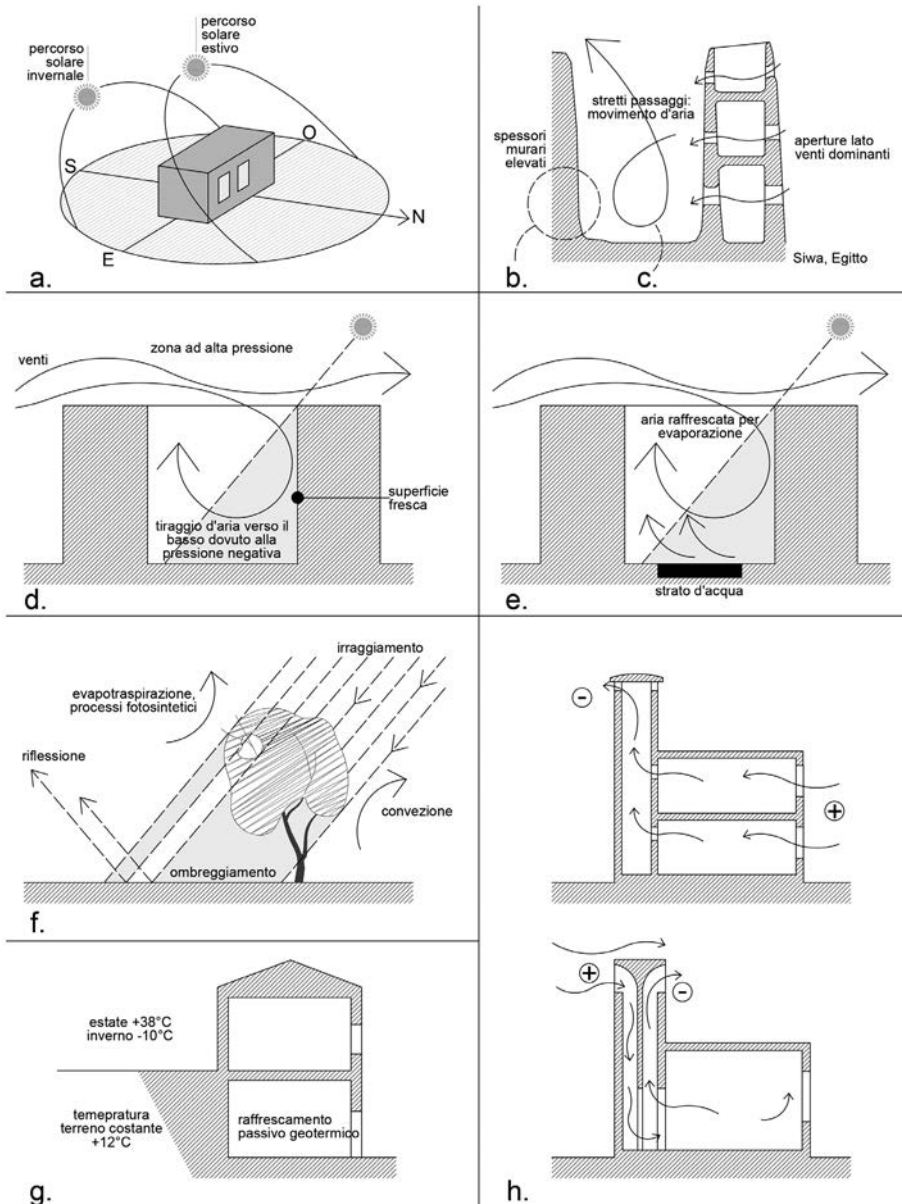
Le scelte progettuali legate all'orientamento e agli affacci esterni di un edificio, oltreché dei suoi ambienti rispetto alle diverse funzioni, sono strettamente connesse al percorso giornaliero (apparente) del sole, un percorso est-ovest che segue una linea curva inclinata verso sud, e la cui inclinazione varia durante l'anno, da un angolo alto in estate a un angolo basso in inverno. La progettazione delle aperture esterne è pertanto influenzata dalla necessità di sfruttare a sud il sole "basso" invernale come fonte di riscaldamento naturale, e allo stesso tempo di proteggere l'interno dell'abitazione da eccessivi irraggiamenti del sole estivo.

L'orientamento dell'edificio può dipendere anche dai venti: allinearli perpendicolarmente ai venti prevalenti (fino a un angolo di 30° di inclinazione) facilita il massimo flusso d'aria attraverso l'edificio<sup>4</sup>.

4. Come riportato nel Nearly Zero Energy Building (NZEB), ossia l'insieme delle regole che permettono di realizzare edifici a elevata efficienza energetica. Solo per meglio inquadrare

il concetto, in Italia, dal 1 gennaio 2021, è stato introdotto l'obbligo NZEB per tutti i nuovi edifici o per gli interventi che prevedono una demolizione e una successiva ricostruzione.

Posizione, dimensione, forma e quantità delle aperture esterne influenza la ventilazione di un'ambiente, sia rispetto al movimento di aria in direzione orizzontale (ventilazione incrociata) e in direzione verticale (effetto camino).



**Fig. 1.** Schema delle componenti delle strategie della progettazione bioclimatica: a, esposizione; b, spessori murari; c, forma; d, corti; e, acqua; f, vegetazione; g, geotermia; h, torri del vento.

La ventilazione incrociata (*cross ventilation*) è il movimento naturale dell'aria attraverso un ambiente favorito da aperture poste su pareti contrapposte<sup>5</sup>. La forza trainante dell'aria è data dalla differenza di pressione tra la zona di alta pressione che incontra i venti (sopravento) e la zona sottovento di bassa pressione<sup>6</sup>. In particolare, è la forma e la dimensione dell'apertura di ingresso dell'aria (zona sopravento) a influenzare maggiormente la ventilazione incrociata e il suo modello di flusso<sup>7</sup>.

Differentemente, nell'effetto camino (*stack ventilation*) le forze dominanti sono la differenza di temperatura e il "galleggiamento", grazie alla caratteristica per la quale la temperatura minore dell'aria ha una densità maggiore, a causa dell'alto contenuto di umidità. Conseguentemente, l'aria fresca di ingresso in un ambiente tende a stare in basso e a salire verso l'alto man mano che si scalda, instaurando così un flusso di aria nel caso in cui aperture poste in alto (come appunto in un camino) ne consentano la fuoriuscita. Per sfruttare tale effetto occorre quindi creare una differenza di altezza tra le aperture poste nelle pareti contrapposte: più basse quelle lungo i lati ombreggiati e rivolti ai venti dominanti, e più in alto le aperture lungo le pareti esposte all'irraggiamento solare. Le potenzialità dell'effetto camino sono sfruttate appieno con la realizzazione di "camini solari", ossia camini esposti al sole dove l'aria calda e leggera fuoriesce da aperture poste in alto, richiamando l'aria interna e aumentandone il movimento e la velocità.

### **b. Spessori murari**

Spessori notevoli delle murature conferiscono all'involucro edilizio una elevata inerzia termica che gli permette di assorbire il calore e ritardarne il passaggio verso l'interno, come nel caso degli spessi muri con poche finestre dell'architettura tradizionale islamica, espediente per l'isolamento termico dal calore opprimente<sup>8</sup>.

### **c. Forma**

Edifici dalla forma compatta massimizzano gli scambi termici, riducendo rispettivamente il guadagno e le perdite di calore<sup>9</sup>. I passaggi stretti creano invece movimenti di vento, come riscontrato, ad esempio a Siwa, Egitto, i cui vicoli stretti presentano finestre strette da un lato e più larghe dall'altro lato per creare ventilazione incrociata<sup>10</sup>.

5. GROSSO, 2002.

6. SHETABIVASH, 2015.

7. Un confronto tra casi di aperture diverse per forma (quadrata, rettangolare sviluppata in orizzontale e in verticale) e posizione (entrambe allineate in alto, in basso,

e sfalsate) rispetto ai loro effetti sulla ventilazione naturale interna è fornito da SHETABIVASH, 2015.

8. JOHNSON, 1995.

9. NZEB.

10. AHMED, 2014.

#### **d. Corti e porticati**

Corte centrale e porticato hanno chiara funzione di regolatori termici: ombreggiano e regolano l'irraggiamento solare di percorsi e spazi esterni, e di pareti verticali; proteggono da piogge e venti; accumulano aria fresca durante la notte e la rilasciano durante il giorno<sup>11</sup>. La corte permette, infatti, di sfruttare la massa termica delle pareti per assorbire gli apporti termici interni durante parte della giornata, ritardando l'aumento della temperatura, mentre durante la notte le superfici del cortile irradiano la quantità di energia acquisita durante il giorno.

Come riporta la letteratura specifica, l'orientamento del lato lungo l'asse est/ovest è da prediligere per le condizioni estive e, ovviamente, il contrario vale per l'inverno<sup>12</sup>. Anche l'orientamento della corte rispetto ai venti dominanti presenta importanti differenze: per esempio, un angolo di 45° rispetto alla direzione del vento prevalente massimizza il flusso di aria nel cortile, e conseguentemente migliora la ventilazione incrociata nell'abitazione<sup>13</sup>.

#### **e. Acqua**

L'acqua è un elemento essenziale dei sistemi di raffrescamento: per cui il suo uso è vario, sebbene sempre basato sulla sua evaporazione. Le prime testimonianze dell'uso di sistemi di raffrescamento passivo risalgono a circa il 2500 a.C., quando nell'antico Egitto apparirono le giare di argilla porose colme di acqua<sup>14</sup>, a cui si aggiunsero nel tempo altri espedienti integrati nella progettazione degli spazi esterni, quali specchi d'acqua, piscine e scivoli d'acqua sottili<sup>15</sup>.

Il cosiddetto *raffrescamento evaporativo* (o adiabatico) può essere sintetizzato con la sensazione di fresco che si prova quando una mano bagnata viene agitata in aria; pertanto, nelle stagioni e aree calde, per migliorare le condizioni climatiche all'interno di una casa, esternamente si realizza una vasca, disposta sulla direttrice dei venti dominanti, il più possibile ombreggiata prossima alla residenza, oltreché bassa e predisposta per essere riempita costantemente con minimo afflusso idrico. In tal modo l'aria calda, passando sulla vasca, permette l'evaporazione dell'acqua e, nello stesso tempo, si rinfresca, acquisendo umidità (raffrescamento evaporativo diretto)<sup>16</sup>. I risultati più soddisfacenti dipendono, dunque, dalle dimensioni della vasca –all'aumentare della superficie di acqua e

11. DUNHAM, 1960; MOHSEN, 1979; FATHY, 1986.

12. MOHSEN, 1979.

13. BENSALAM, 1991; NZEB.

14. DUAN ET AL., 2012.

15. WKB, 1997.

16. NAGA, 1990.

al diminuire della profondità il fenomeno si amplifica<sup>17</sup>– e dalla sua prossimità alle superfici da rinfrescare.

Altri usi dell'acqua sono di tipo attivo, come quello di spruzzare l'acqua sulle pareti esterne<sup>18</sup>, e non aumentano la quantità di umidità nell'aria interna (raffrescamento evaporativo indiretto).

## **f. Vegetazione**

Dalla tipologia del giardino incluso egizio, è noto come la vegetazione – meglio se combinata alla presenza di acqua– massimizzi il ruolo di regolatore termico degli spazi conformati a corte, in quanto contribuisce a mantenere bassa la temperatura dell'aria assorbendo gran parte della radiazione solare e producendo vapore acqueo. L'energia solare incidente sulla vegetazione è, infatti, in gran parte utilizzata per processi traspiratori e fotosintetici. Le piante hanno a disposizione vari meccanismi biofisici per la regolazione della temperatura, che agiscono per manipolazione dei termini di bilancio energetico, come, per esempio, la conversione della radiazione solare –intercettata dalla chioma– in calore latente ed evapotraspirazione<sup>19</sup>. Gli alberi, inoltre, contribuiscono alla temperatura ambientale fornendo ombra, con un effetto schermante che riduce la temperatura superficiale, mentre, al contrario, le pareti verticali degli edifici riflettono e assorbono l'energia solare, aumentandone il carico termico. Pertanto, la presenza di vegetazione in un ambiente costruito è un fattore determinante per il suo comfort termico, mitigando cambiamenti microclimatici eccezionali.

## **g. Ambienti ipogei e semipogei**

Già in antico, la costruzione di criptoportici, ipogei o semipogei, permetteva di disporre di spazi sempre freschi in cui intrattenersi nella stagione estiva. In tali luoghi, la temperatura interna (pressoché costante) è infatti sufficientemente fresca in estate e calda in inverno da dare una immediata sensazione di comfort e sollievo rispetto alle condizioni climatiche esterne. Tale fenomeno, denominato *raffrescamento passivo geotermico*, deriva dal contatto diretto con il terreno che accumula il calore esterno e quello all'interno dell'ambiente grazie alla sua elevata capacità di accumulo termico (inerzia termica).

17. TUCCI, 2021.

19. JONES E ROTENBERG, 2011; GATTO *ET AL.*, 2020.

18. Su sistemi di raffrescamento evaporativo indiretto: ABRAMS, 1985; DUNKLE, 1962; SODHA *ET AL.*, 1986.



## ***h. Torri del vento***

Le torri del vento sono sistemi di raffrescamento passivo in uso già nel 1300 a.C. in Egitto<sup>20</sup>, con funzione di catturare i venti freschi dei livelli più alti, grazie alle aperture poste in sommità<sup>21</sup>, per convogliarli nell'abitazione sfruttando le leggi dei moti convettivi e il fenomeno di aspirazione dell'aria tra zone di diversa pressione, quella interna e quella esterna alla torre. I venti convogliati, inoltre, in antico, ma anche in epoche successive, erano spesso umidificati<sup>22</sup> grazie al passaggio dell'aria per anfore con acqua, vasche, fontane o canali di acqua corrente<sup>23</sup>, come nei noti casi, solo per citarne alcuni, della Zisa di Palermo, dell'Alhambra di Granada o di Villa d'Este a Tivoli.

## **VILLA ADRIANA: CASI DI BIOCLIMATICA**

Sulla base dell'*excursus* storico e dei cenni inerenti gli attuali principi, appare evidente che a Villa Adriana non è privo di rilevanza il riscontro di elementi progettuali frutto di considerazioni di carattere bioclimatico, o da queste in parte condizionate. Per definirne più solidamente l'esistenza si rende necessario, però, condurre una previa indagine inerente le condizioni climatiche del luogo. Se è impossibile stabilire con esattezza quale fosse l'andamento delle temperature medie e le caratteristiche dei venti dominanti, errato sarebbe affrontare un confronto con la situazione climatica attuale. A tal proposito, dunque, occorre fare riferimento ad alcuni studi inerenti le condizioni climatiche dell'epoca, che permettono di definire un quadro climatico rispetto alla situazione del clima e dei venti. Per entrambi esiste una buona documentazione, ben trattata anche dalla letteratura specifica; con particolare riferimento al primo, il clima, la Villa imperiale tiburtina viene costruita per essere abitata nel corso del "Periodo caldo romano", o "*Optium* climatico romano" (250 a.C.- 400 d.C.), ossia una fase climatica del Tardo Olocene caratterizzata da clima caldo e umido, di passaggio dal clima rigido del 500 a.C. al clima più caldo e secco del V secolo d.C.<sup>24</sup>.

Le caratteristiche di tale periodo climatico possono essere elencate in termini di:

**20.** OLGYAY, 1963; FATHY, 1973.

**21.** Le aperture alte della torre sono direzionate secondo i venti prevalenti, ma in alcuni 21 le torri del vento presentano aperture lungo tutti i lati. SULEIMAN E HIMMO, 2012.

**22.** La necessità di umidificare l'aria deriva dalla presenza di venti secchi, spesso di provenienza desertica, verso le architetture arabe e persiane dove tali tipologie si diffondono (IGHANY, 2008).

**22.** La necessità di umidificare l'aria deriva dalla presenza di venti secchi, spesso di provenienza desertica, verso le architetture arabe e persiane dove tali tipologie si diffondono (IGHANY, 2008).

**23.** ROAF, 1990; IGHANY, 2008; SULEIMAN E HIMMO, 2012.

**24.** BIANCHI E MC CAVE, 1999; CAMUFFO, 1990; HARPER, 2019.

- umidità, indotta sia dalla presenza di vegetazione rigogliosa (la successiva deforestazione su larga scala causerà, poco dopo, un'aridificazione climatica dalla quale deriva l'attuale clima mediterraneo); sia dall'aumento della velocità della corrente a getto (pe. una stretta corrente di forti venti che viaggiano ad alta quota, da ovest a est), legata al cambiamento della temperatura della superficie del mare nel Nord Atlantico (la cosiddetta *Centennial North Atlantic Oscillation*, CNAO)<sup>25</sup>, con picco nell'anno 100 d.C.<sup>26</sup>;
- instabilità meteorologica, come già testimoniato da Columella, "Sento spesso i cittadini più illustri che si lamentano ora della sterilità dei campi, ora della variabilità del clima, da lungo tempo ormai sfavorevole all'agricoltura"<sup>27</sup>;
- eccezionali precipitazioni invernali, più volte testimoniate tra il 69 a.C. e il 164 d.C., in particolare con riferimento alle frequenti inondazioni del fiume Tevere<sup>28</sup>.

Altresì, con richiamo ai venti, occorre prioritariamente considerare che, parimenti a Roma, l'intera vallata dell'Aniene risentiva, e risente, dello Scirocco, un vento caldo e umido proveniente da sud-est<sup>29</sup>. Oltre a tale vento, il territorio in cui insiste la Villa, da aprile e per tutta l'estate, era ventilato dalla brezza marina proveniente da sud-ovest, che, però, nelle ore pomeridiane subiva un cambiamento direzionale, da ovest<sup>30</sup>. In particolare, inoltre, il mese di luglio era caratterizzato anche da frequenti venti che soffiavano da nord-est<sup>31</sup>.

Se già tale quadro climatico consente di affrontare una prima analisi della Villa che, nel suo complesso, mostra una sorta di chiusura verso ovest –versante sul quale gli affacci esterni sono mediati dalla presenza di altri edifici o di porticati e corti, oppure di specifici accorgimenti, coerentemente con la necessità di schermare dai venti caldi e umidi occidentali–, sono stati approfonditi alcuni complessi della Villa attraverso un metodo di analisi e comparazione tra i dati rilevati *in situ* e quanto ottenibile dal reperimento delle informazioni climatiche; studi, i cui risultati, portano in luce precipue aderenze con criteri progettuali bioclimatici.

25. DERMODY *ET AL.*, 2011 e 2012.

26. BIANCHI E Mc CAVE, 1999.

27. Columella, *Praefatio*, 1.

28. CAMUFFO, 1990.

29. CAMUFFO, 1993.

30. Vitruvio, IV,4,1, come già accennato (v. n.1) a tal proposito, scrive che le librerie debbono essere esposte

a est, perché l'esposizione a sud o a ovest rischia di danneggiare i libri, "rovinati dalle tarme e dall'umidità dei venti umidi che spirano da sud o ovest e trasportano umidità che fanno deteriorare i libri e ingialliscono le foglie".

31. CAMUFFO, 1993.

## **Giardino-Stadio e Palazzo con Criptoportico e Peschiera**

Si tratta di un insieme di complessi dei quali è stata già da tempo affrontata una disamina in relazione all'impostazione bioclimatica<sup>32</sup> a fronte delle caratteristiche che presentano. A tali studi, comunque, è possibile affiancare ulteriori riflessioni che inducono ad avvalorare la tesi; in particolare, l'affaccio a occidente del Palazzo con Criptoportico e Peschiera e l'organizzazione del Giardino-Stadio permettono di riflettere sugli accorgimenti adottati per volgere a vantaggio climatico gli effetti dei venti provenienti da ovest.

Con particolare riferimento al Giardino-Stadio, si osserva che:

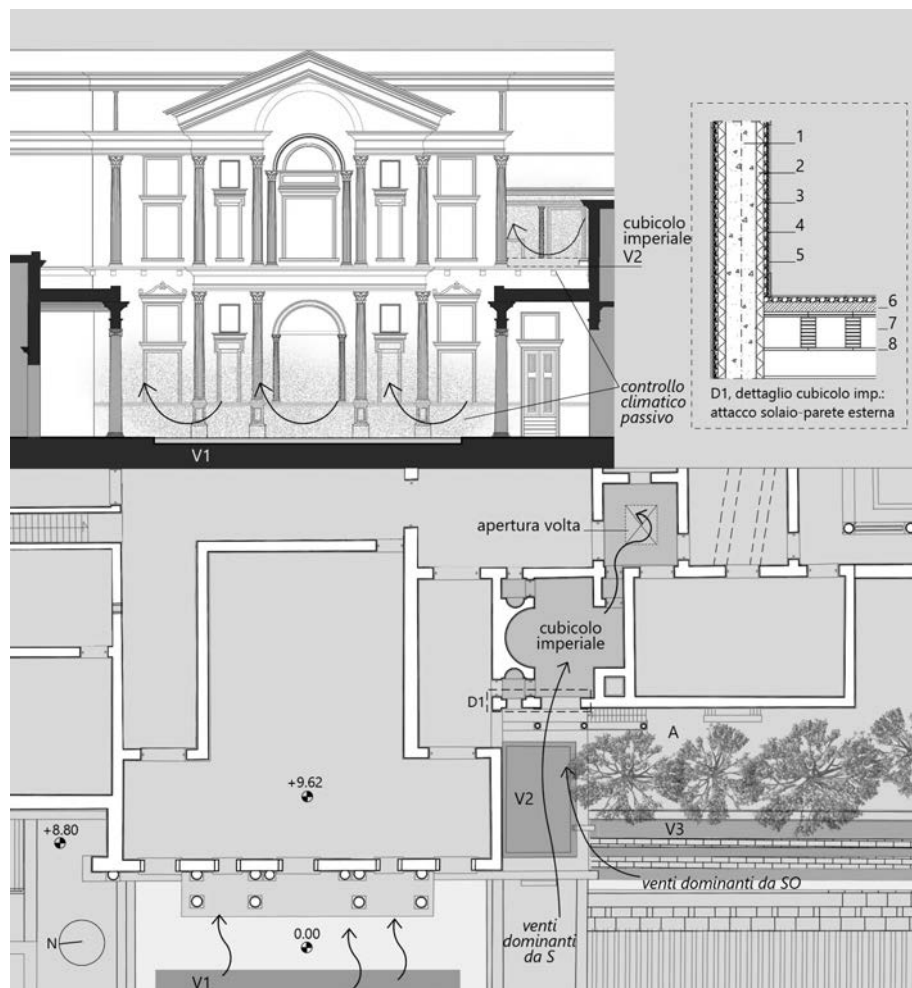
- lo spazio libero centrale aveva una conformazione a corte (d), con il lato ovest chiuso dal Palazzo con Criptoportico e Peschiera, molto più alto delle costruzioni limitrofe, consentendo una profonda ombreggiatura mattutina della corte, per la maggior parte occupata da una vasca poco profonda (circa 10 cm di profondità), ideale per il sistema passivo di raffrescamento evaporativo (e) (fig. 2, "VI"). Con specifico riferimento alla vasca, desunta da Hoffmann<sup>33</sup> in seguito alle accurate indagini condotte *in situ*, è successivamente accettata da Mac Donald e Pinto<sup>34</sup>, sebbene con la specifica che, se ci fosse realmente stata, si sarebbe trattato di uno specchio d'acqua poco profondo, uno spazio con acqua che, dividendo in due il Giardino-Stadio sarebbe da intendere quale una sorta di vasca di filtro interposta tra due aree, distinte per tipo di attività. Di diversa opinione è Salza Prina Ricotti<sup>35</sup>, che si oppone fermamente all'ipotesi, adducendo a giustificazione la considerazione che il livello dell'acqua, troppo basso, sarebbe stato difficilmente gestibile nel corso del periodo estivo. Come è possibile desumere, quindi, l'insieme delle considerazioni, a favore o contro, hanno per oggetto proprio le caratteristiche pertinenti una vasca introdotta con il precipuo scopo bioclimatico, dato che nel corso delle ore più calde, l'evaporazione dell'acqua raffrescava l'aria e diminuiva il suo livello nella vasca, rendendo superfluo qualsiasi condotto di scarico, come, peraltro, documentato da Hoffmann. La presenza della vasca forniva la condizione ideale per il rinfrescamento dell'aria negli edifici limitrofi e, tra tutti, negli ambienti disposti al primo livello di calpestio del Palazzo (e), peraltro già favoriti, in termini di microclima, dalla presenza del terrapieno lungo i tre restanti lati (g), e i cui affacci sul fronte ovest, ossia contrapposti

32. ADEMBRI E CINQUE, 2010; CINQUE, 2013.

33. HOFFMANN, 1980.

34. PINTO E MAC DONALD, 2002.

35. SALZA PRINA RICOTTI, 2001.



**Fig. 2.** Il sistema passivo di controllo climatico dei complessi dell'area del Giardino-Stadio, ricostruzioni del gruppo di ricerca RiVA, dell'Università di Roma Tor Vergata coordinato da G.E. Cinque: in basso, pianta del primo livello (+9.62m); in alto a sinistra, sezione interna nella corte con vista del prospetto principale del cd Palazzo; in alto a sinistra, dettaglio dell'attacco tra il solaio del primo livello (*praeformia*) e parete esterna finestrata. Pianta e sezione mostrano: ventilazione; vasche d'acqua (V1 = vasca della corte; V2 = vasca del cubicolo imperiale al primo livello; V3 = percorsi d'acqua alla quota del terreno); vegetazione (A).

Il dettaglio dell'attacco solaio-parete esterna mostra la seguente stratificazione:

- 1: *opus caementicium*, 55cm, k (conduttività termica) pari a 1.05 W/mk
- 2: tufo, 10cm, k pari a 0.63 W/mk
- 3: malta grana grossa, 4cm, k pari a 1.1 W/mk
- 4: malta grana fine, 3cm, k pari a 0.87 W/mk
- 5: rivestimento in marmo, 2.5cm, k pari a 2.9 W/mk
- 6: *suspensurae*, 29.5cm
- 7: pilastri, 41.5cm
- 8: sesquipedali laterizio, 3.5cm, k pari a 0.87 W/mk.

Complessivamente la parete ha una trasmittanza termica pari a 0.846 W/m<sup>2</sup>k, mentre il solaio ha una trasmittanza termica pari a 1.9925 W/m<sup>2</sup>k. In particolare, più il valore di trasmittanza è basso, maggiore è l'isolamento dell'elemento.

alla direzione dei venti dominanti estivi<sup>36</sup>, erano pienamente interessati dal fenomeno.

- I due Padiglioni (a sud e a nord) creavano passaggi stretti, a est e a ovest, che massimizzavano la circolazione dell'aria e la quantità di ombra e frescura (sistema c)(fig. 3).
- Il percorso porticato lungo l'asse nord-sud era caratterizzato dalla presenza di corpi idrici per dissipare calore e raffrescare per evaporazione: una lunga vasca a nord, ombreggiata nelle ore più calde dall'adiacente padiglione settentrionale (fig. 4), e una vasca a emiciclo all'estremità a sud, caratterizzata da cascatelle di acqua multiple, su gradoni.
- La vasca a emiciclo, esposta a nord e ombreggiata dalle alberature a ovest, massimizzava il contributo al raffrescamento evaporativo, noto che l'evaporazione dell'acqua è proporzionale alla superficie di contatto aria-acqua e, quindi, aumenta in presenza di cascate e fontane<sup>37</sup>.

Nel richiamare il Palazzo, occorre fare riferimento alle ultime indagini sviluppate<sup>38</sup> per eliderne l'attribuzione nominale più nota ("d'Inverno", in quanto in precedenza, accertato l'ipocausto, si riteneva adibito a un uso prevalentemente invernale) e per validare che gli elementi riscontrati rispondono ai principi bioclimatici volti all'ottenimento di confortevole abitabilità anche nella stagione estiva.

Come anzi accennato, se la vasca nello spazio centrale del Giardino-Stadio ottimizzava il confort estivo agli ambienti del primo livello di calpestio del Palazzo, ben pochi benefici pervenivano agli ambienti imperiali disposti con il calpestio a ca. 8 m più in alto. A tale ragione, quasi certamente in corso d'opera, in seguito a una specifica richiesta adrianea<sup>39</sup>, volta a ottenere maggiori benefici climatici nel cubicolo notturno limitrofo, viene eseguita una modifica per la quale, in luogo di un ambiente previsto con ipocausto viene realizzata una vasca<sup>40</sup> (fig. 2, "V2"; fig. 5). Questa, disposta sull'estradosso dell'ambiente sud del

**36.** Da SPENA, 2004, nello studio *Domus bioclimatica, Il Palazzo d'Inverno*, presentato all'Incontro Internazionale di Studio 22/23/24 - novembre 2004 e organizzato dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali-Direzione Generale per i Beni Archeologici, dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio e dall'Università degli Studi di Roma Tor Vergata- Facoltà di Ingegneria, condotto in seno alle indagini coordinate da G. E. Cinque e purtroppo mai pubblicato, si ottiene che: "Dai dati ottenuti si nota che la disposizione dell'edificio, con la facciata principale rivolta a ovest, garantisce una velocità del vento in ingresso dalle finestre del secondo livello, maggiore nei mesi più caldi".

**37.** LEKAN ET AL., 2017.

**38.** ADEMBRI E CINQUE, 2010.

**39.** Noto che al 125 d.C. risalgono gli ultimi bolli laterizi rilevati nell'edificio, cfr. BLOCH, 1937, e che nel medesimo anno, a settembre, la corte imperiale risiede nella Villa, si deve ritenere che le modifiche siano occorse tra la fine del 124 e l'inizio del 125, in maniera di consentire all'imperatore di risiedere nel Palazzo. Tra gli altri: CINQUE, 2020.

**40.** La vasca presenta numerose tracce che spingono a ritenere che la sua realizzazione sia occorsa, comunque nel corso della cantierizzazione, sebbene in una fase contraddittoria rispetto al precedente assetto progettuale, come pienamente dimostrato dal completo obliteramento del passaggio intraparietale dell'ipocausto presente nell'ambiente limitrofo.

primo livello, ha pianta rettangolare di dimensioni pari a quelle dell'ambiente inferiore e presenta l'asse longitudinale all'incirca allineato alla direzione dei venti estivi dominanti, provenienti da ovest. Di altezza ridotta, rifinita da uno strato perimetrale di calce idraulica per sigillare contro le infiltrazioni d'acqua l'angolo tra pavimento e pareti, la vasca, rivestita con mosaico a tessere bianche, è separata dalla muratura perimetrale ovest della latrina asservita al contiguo cubicolo notturno, mediante uno spazio servile e necessario per la pulizia quotidiana dell'acqua contenuta nella vasca. "L'aria e l'acqua sono di per sé bianche per natura", cita il *Perì chromáton*<sup>41</sup>; bianco era il colore di Iside, il colore *albus* simbolo di purità, o *candidus* simbolo di onestà<sup>42</sup>. Il bianco è, però e soprattutto, il colore "acromatico", che riflette la radiazione solare, diminuendo il calore accumulato<sup>43</sup>, ragione della sua adozione, già dall'antichità, per le costruzioni nei caldi climi mediterranei e in ciò si trova anche la ragione per la quale questa, come le altre vasche della Villa, era rivestita con materiale lapideo bianco.

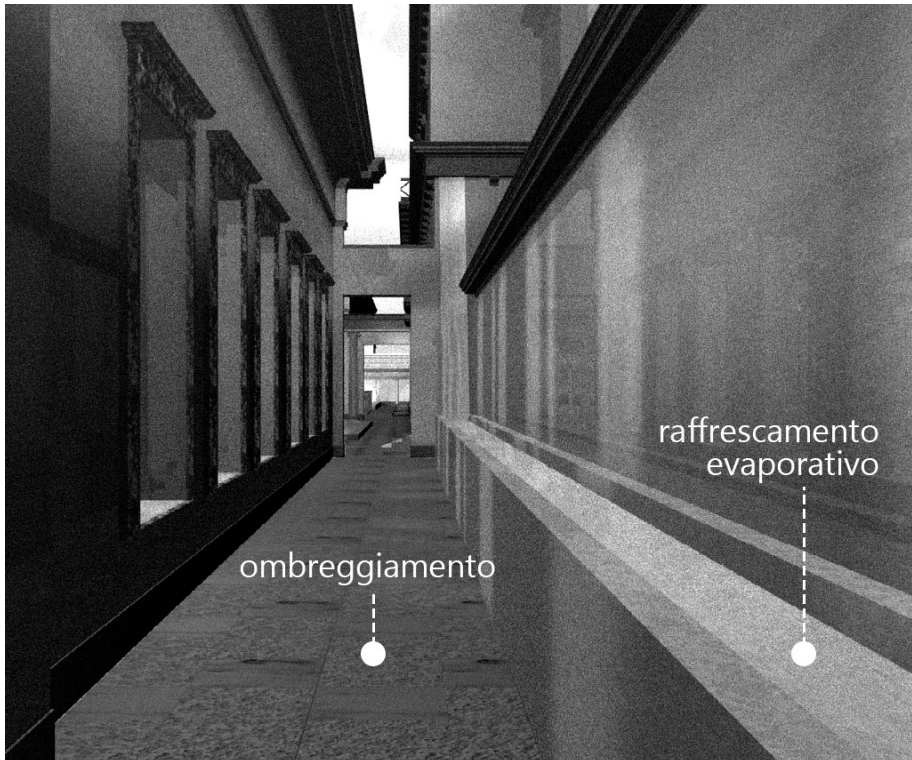
Come già indicato, il binomio 'vasca-aperture', rivolto nella direzione dei venti dominanti, permette l'ingresso di aria raffrescata. Numerosi sono gli elementi che consentono di validare i precipui intenti progettuali, volti a fornire un adeguato confort estivo ai fruitori del cubicolo imperiale:

- vegetazione (f), a sud della vasca, che fornisce ombra e produce vapore acqueo (*fig. 2, "A"*);
- acqua corrente nella vasca, addotta tramite una fistula della quale si osserva il tracciato nel corridoio servile, proveniente dalla latrina singola a ovest e scaricata mediante una condotta nel canale disposto sul lato sud della vasca;
- ulteriore presenza di acqua (e) a quote inferiori, nel settore meridionale, costituita da canali a pelo libero, almeno uno dei quali addotto dall'acqua scaricata dalla vasca, e funzionali all'alimentazione del ninfeo a emiciclo a sud del Giardino-Stadio. (*fig. 2, "V3"*). Come già accennato, le strutture murarie che sorreggevano tali canali formavano il lato est di un percorso non ampio (c), delimitato a ovest dal padiglione meridionale del Giardino-Stadio. Tale soluzione induceva i venti a incanalarsi, aumentando il movimento d'aria e, quindi, il raffrescamento tramite evaporazione dell'acqua;

<sup>41</sup>. Scritto forse da Teofrasto o Stratone di Lampsaco, tradotto in tedesco da Goethe e inserito nel suo *Zur Farbenlehre*, Tubinga 1810; trad. it, con introduzione di G.C. Argan, *La teoria dei colori*, Milano 1987.

<sup>42</sup>. ZANKER, 2008; AZZONI, 2015.

<sup>43</sup>. Un corpo bianco respinge le lunghezze d'onda dello spettro visibile, al contrario di uno nero che assorbe tutta la radiazione luminosa.



**Fig. 3.** Ricostruzione volumetrica dell'area est del Giardino-Stadio, vista del percorso delimitato a ovest dal Padiglione sud e a est dalle murature del Palazzo e del terrapieno, con indicazione dei principali sistemi passivi di controllo termico: presenza di acqua in movimento, schermatura solare (autore).

- predisposizione a giardino del pendio sorretto dalle strutture con i canali: una scelta che, se da una parte era funzionale all'occultamento delle strutture servili predisposte per il funzionamento dell'ipocausto, dall'altra permetteva la corretta ombreggiatura dell'acqua (fig. 3);
- presenza di un *oculus* nella volta dell'ambiente limitrofo al cubicolo imperiale che risulta pienamente funzionale a stimolare il movimento dell'aria per effetto camino (fig. 2); l'apertura in copertura poteva fornire una via di fuga dell'aria più calda e viziata, che meno densa, e quindi più leggera, saliva verso l'alto e veniva condotta fuori dall'abitazione, lasciando, in basso, l'aria fresca e pulita (a).

Un altro elemento del livello superiore con caratteri riconducibili a un sistema di raffreddamento è costituito dall'ipocausto deputato per sua natura a riscaldare dal basso (*hypokauston* in greco, da cui *hypocaustum* in latino) ma che, come



**Fig. 4.** Ricostruzione virtuale dell'area del Giardino-Stadio, vista della corte nord e indicazione del sistema di raffreddamento evaporativo indotto dalla vasca nel settore settentrionale (autore).

indicato in precedenti studi<sup>44</sup>, aveva anche funzione di raffrescamento degli ambienti. Due sono gli elementi atipici che, riscontrati nell'edificio, trovano spiegazione all'interno di una progettazione integrata con le esigenze di raffrescamento (v. Cinque, *ivi*, figg. 10):

- (i) il livello intermedio, chiaramente a carattere spiccatamente servile, in quanto funzionale all'azionamento dei forni (*praefornuia*) collegati all'intercapedine con *suspensurae*, è fornito di inusuali finestre<sup>45</sup> aperte sul prospetto principale, ossia affaccianti su aree altamente auliche;
- (ii) un forno, dotato di due camini, è collocato in una posizione periferica rispetto agli altri elementi simili presenti nell'area servita dall'ipocausto, alla quale non è direttamente collegato, se non attraverso una condotta la cui presenza è stata accertata mediante introspezioni con georadar<sup>46</sup>. Tale *praefurnio*, accessibile mediante un percorso ipogeo di servizio –il cui andamento, quanto meno con riferimento alla parte parzialmente interrata ma ispezionabile, ha direzione sud/nord–, si trova nell'area meridionale del Palazzo, in prossimità di ambienti di servizio, nessuno dei quali è

<sup>44</sup>. SPENA, 2004; ADEMBRI E CINQUE, 2010.

<sup>46</sup>. SPENA, 2004.

<sup>45</sup>. Nessuno dei passaggi servili della Villa, tra quelli al momento noti, è dotato di finestre.



dotato di ipocausto, all'interno di un ambiente intercluso, le cui murature mostrano segni di manomissioni di età adrianea, probabilmente ascrivibili alla fase di costruzione del Quadriportico con Peschiera<sup>47</sup>. La ragione della presenza di tale forno potrebbe essere giustificabile nell'ipotesi, peraltro assai improbabile, di una 'postcombustione', ottenibile sfruttando la connessione con gli ipocausti, ovvero, molto più coerentemente, pensandolo quale 'camino di richiamo'<sup>48</sup>, ossia un forno che, per assolvere adeguatamente la sua funzione richiede una fiamma viva, diversamente dai simili predisposti per il riscaldamento dell'ipocausto, che richiedono alimentazione con braci vive<sup>49</sup>. A tal fine, dunque, deve essere interessato da un costante flusso d'aria, immessa ed emessa, deve necessariamente essere distanziato dal luogo di presa d'aria, sebbene a questo collegato mediante un condotto di alimentazione, ossia una tubatura di non ampio raggio (una sorta di collo di bottiglia), funzionale a migliorare il tiraggio, ossia pienamente riconducibile a quanto riscontrato in seguito alle introspezioni georadar condotte.

Le condizioni sommariamente esposte spingono a validare l'ipotesi di un sistema di raffrescamento passivo, ottenuto attraverso il 'camino di richiamo' e adottato per la stagione estiva:

- all'accensione del fuoco nel forno periferico corrispondeva l'apertura delle finestre nei corridoi servili del livello intermedio dell'edificio;
- all'apertura delle finestre del livello intermedio (i), i venti entravano nei corridoi servili, determinando già un primo raffrescamento degli ambienti

47. ADEMBRI E CINQUE, 2010.

48. SPENA, 2004; la letteratura inerente tali impianti non è limitata e ha grande esito applicativo tra la fine 1800 e l'inizio del secolo successivo; per esempio riporta la descrizione fornita dalla rivista *L'ingegneria sanitaria*, X, Torino, marzo 1899, n. 3., p. 46, in merito all'illustrazione del *Progetto di edificio per Scuola elementare maschile premiata al Concorso indetto nel 1898 dalla città di Rovereto*, "La ventilazione artificiale, come è noto può venire ottenuta o con richiamo dal basso o con richiamo dall'alto. Nel primo caso i condotti d'estrazione dell'aria viziata discendono fino nei sotterranei per immettersi nel collettore che sbocca nel camino di aspirazione dove il tirante viene provocato o per mezzo di un focolare ausiliare -posto alla base di un gran camino- o di un ventilatore meccanico; nel secondo caso i condotti di estrazione di aria viziata salgono invece direttamente nel sottotetto in un collettore che mette capo al camino di richiamo. Il migliore dei due sistemi sarebbe il primo

perché, data l'altezza del camino, l'aspirazione riesce più facile e più uniforme [...]. Nell'estate si aggiungerebbe poi la ventilazione naturale ottenuta mantenendo aperti gli sportelli speciali (vasistas) praticati sopra le porte e nelle finestre".

49. Come dimostrato dagli studi condotti da SPENA, 2004, e riferiti alla trasmissione di calore che gli elementi costruttivi consentono, la capacità di dispersione del calore (*trasmissione termica*) delle pareti dell'involucro è meno della metà di quella del solaio con *suspensurae* (fig. 2, vedi dettaglio dell'attacco parete-solaio in sezione). In particolare, la parete ha una trasmittanza termica pari a 0.846 W/m<sup>2</sup>k, mentre quella del solaio è pari a 1.9925 W/m<sup>2</sup>k. Tale dato conferma la necessità di predisporre un involucro che ostacoli e rallenti il flusso di calore e, al contrario, un solaio che favorisca gli scambi di calore con l'ambiente sottostante, funzionale al suo riscaldamento e raffrescamento.



**Fig. 5.** Ricostruzione virtuale dell'area del Giardino-Stadio, vista della vasca del primo livello del Palazzo, schermata dalle alberature e posta di fronte alle finestre della latrina singola a ovest e del cubicolo imperiale, per consentire il raffrescamento dei venti in ingresso nella camera (autore).

sottostanti e soprastanti, ma entravano anche nell'ipocausto, attraverso le aperture dei prefurni;

- il forno periferico “richiamava” l'aria entrata nell'ipocausto, aspirandola forzatamente attraverso la condotta di alimentazione;
- i due camini del forno periferico consentivano il ricambio d'aria grazie all'effetto di tiraggio d'aria (a);
- il forno periferico (ii), in relazione alla sua esposizione a sud, assumeva anche valenza di un “camino solare”, ossia di un dispositivo in cui il riscaldamento dell'aria ne faceva diminuire la densità e ciò permetteva di richiamare costantemente aria nuova.

In relazione allo studio approfondito del meccanismo<sup>50</sup>, è utile indicare che per assicurare il ricambio d'aria nell'ipocausto in tempi brevi, pari a ca. 1 ora e 40', era sufficiente una differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno del

**50.** SPENA, 2004.

forno periferico pari a ca. 11°C. Peraltro il sistema di raffrescamento passivo poteva essere potenziato con l'azionamento del forno (sistema attivo) per aumentare il fenomeno di aspirazione di aria dagli ipocausti senza generare *discomfort* agli ambienti imperiali grazie alla sua posizione esterna.

### **Biblioteche**

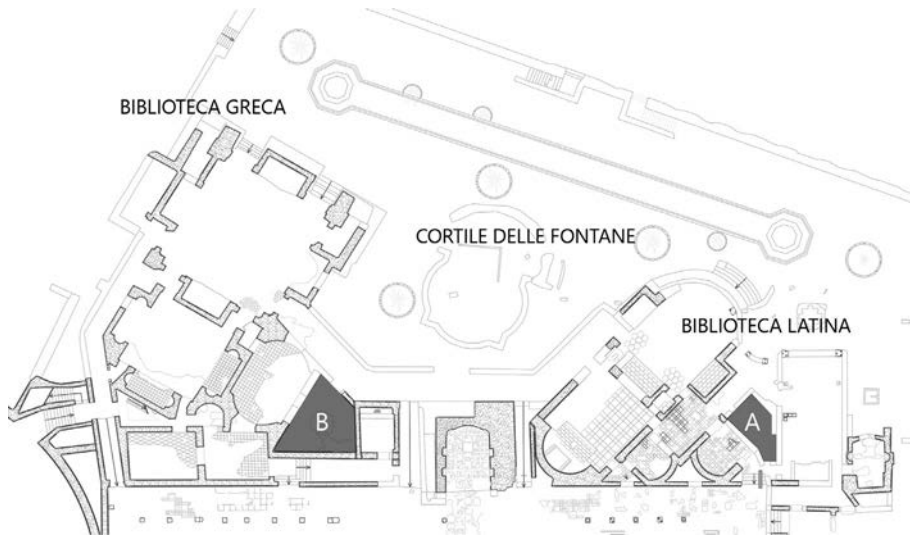
Del complesso delle cd Biblioteche il primo dato che emerge è la prevalente esposizione a nord di tutti i complessi; a partire da ciò, la letteratura immagina un uso estivo dell'insieme degli edifici, mentre studi più dettagliati, nel riflettere sulla presenza dell'ipocausto al terzo livello della cd Biblioteca Greca<sup>51</sup>, ne propongono una fruibilità estesa per tutto l'anno.

Nel considerare la questione dal punto di vista della sensibilità nei confronti della progettazione bioclimatica, occorre inizialmente stabilire che tale esposizione rendeva possibile un particolare effetto di ventilazione, prevalentemente con riferimento ai venti caratterizzanti i mesi estivi e al loro angolo di incidenza sugli edifici. Tale effetto, nel favorire la circolazione dell'aria, permetteva all'acqua contenuta nella bassa vasca prospiciente ai complessi di contribuire al raffrescamento evaporativo, secondo i principi anzi esposti. Giova a tal proposito riscontrare che la letteratura è assai avara di informazioni pertinenti tale vasca, il cui deterioramento è sempre più avanzato, sebbene si tratti di un elemento di non poca rilevanza progettuale, noto che i centri dei due ottagoni che formano le estremità est e ovest del piccolo bacino idrico costituiscono i perni sui quali sono incernierati i due assi di simmetria longitudinali (v. Cinque, *ivi*, fig. 33).

Con particolare riferimento alla Biblioteca Latina, i cui resti attuali ben poco corrispondono all'originale fasto rilevato da Ligorio<sup>52</sup>, di peculiare interesse per il tema trattato è un ambiente dislocato a oriente del corpo principale del complesso (fig. 6, "A"). Molto deteriorato, al punto che le elevazioni murarie, disposte a formare un perimetro irregolare sono inferiori a 50 cm, in origine l'ambiente sembra essere stato intercluso, tanto quanto un suo simile, parimenti di forma irregolare, affiancato al complesso della Biblioteca Greca, a est (fig. 6, "B"). Quest'ultimo, il cui stato di conservazione permette di avanzare delle ipotesi sul suo funzionamento, è un ambiente che conserva parte del rivestimento pavimentale in lastre lapidee bianche, tessute su un piano di calpestio lievemente inclinato verso il centro, in maniera mediamente uniforme per tutti i lati, e con gli attacchi murari foderati con uno strato di impermeabilizzazione idraulica. Tali indicazioni, associate all'assenza di elementi

51. Tra gli ultimi anche MARCONI, 2018, 229-230.

52. Ligorio, Libro, AST, f. 33v, 34r, CINQUE, 2017.



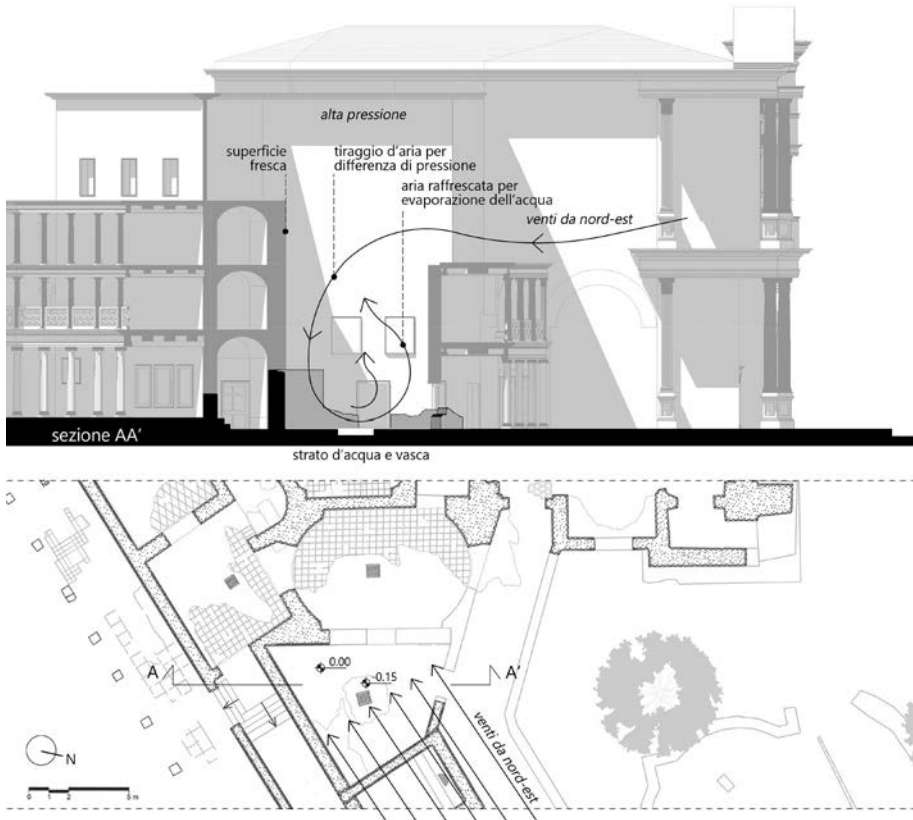
**Fig. 6.** Pianta dello stato attuale del complesso delle cd Biblioteche, con indicazione dei due ambienti (A, B) che presentano caratteristiche riconducibili alla progettazione bioclimatica: richiamo dei venti freschi da NE, e raffreddamento ulteriore dei venti tramite evaporazione di un sottile strato di acqua presente sul pavimento (autore).

che potrebbero affermare l'originaria presenza di varchi d'accesso, spingono a formulare l'ipotesi che l'intero ambiente sia stato concepito e realizzato quale una 'corte di richiamo' dei venti freschi da nord-est e che, per migliorare la sua funzionalità tecnologica, sia stato interessato dal riempimento con un sottile strato di acqua, di profondità non superiore a 10 cm.

L'ipotesi ricostruttiva illustrata in sezione (*fig. 7*), mostra come la 'corte di richiamo' si trovi in una posizione ottimale per il suo funzionamento, indotta dalla minore altezza e spessore<sup>53</sup> delle murature che la delimitano a nord-est, ossia nella direzione di arrivo dei venti freschi. L'altezza maggiore del lato meridionale non solo sarebbe funzionale al convogliamento dei venti provenienti dalla direzione opposta, ma consentirebbe un ombreggiamento della corte favorevole al processo di raffreddamento evaporativo innescato dallo strato d'acqua.

Come già indicato, l'acqua, nella storia dell'architettura bioclimatica, costituisce elemento centrale anche con riferimento alle torri del vento, laddove era usata per raffreddare, mediante evaporazione, i venti convogliati all'interno dell'edificio. Se già tale indicazione permette di migliorare l'ipotesi formulata in merito all'ambiente intercluso, la presenza di due sole finestre, una affacciante

**53.** Gli spessori murari, pari a circa 0.78 cm a sud e a ovest, sono pari a ca. 0.53 cm nei lati nord ed est.



**Fig. 7.** Pianta dello stato attuale della corte della Biblioteca Greca e sezione con ipotesi ricostruttiva in trasparenza (i resti attuali sono segnati da sezione con campitura nera) (autore).

sul cd. Cortile dell'acqua e l'altra verso l'interno della Biblioteca Greca, suggeriscono che l'ambiente abbia assolto il funzionale ruolo di una sorta di torre del vento per immettere aria raffrescata all'interno dell'edificio adiacente, ossia abbia costituito un dispositivo per il raffreddamento passivo.

Se la medesima funzione potrebbe essere proposta per l'ambiente limitrofo al complesso della Biblioteca Latina, una funzione simile, ma non uguale, si potrebbe discutere con riferimento ai due particolari ambienti laterali a ciascuno dei due ingressi principali della Biblioteca Greca. Si tratta, infatti, di spazi chiusi su tre lati, con l'unico lato dissimile, aperto sul fronte dell'edificio prospiciente la vasca d'acqua di cui anzi discusso. Alcuni dei resti murari in elevazione, permettono di verificare la presenza di ulteriori aperture sulle murature opposte, dislocate alla quota del secondo livello di

calpestio. Al ricordare che la vasca che fronteggia i complessi mostra tutte le caratteristiche del raffrescamento evaporativo passivo, grazie alla ridotta profondità dell'acqua e alla posizione, ideale per raffrescare i venti diretti agli edifici, i due ambienti potrebbero essere interpretati quali un ulteriore accorgimento progettato per distribuire i venti all'interno della Biblioteca Greca, aumentandone il raffrescamento.

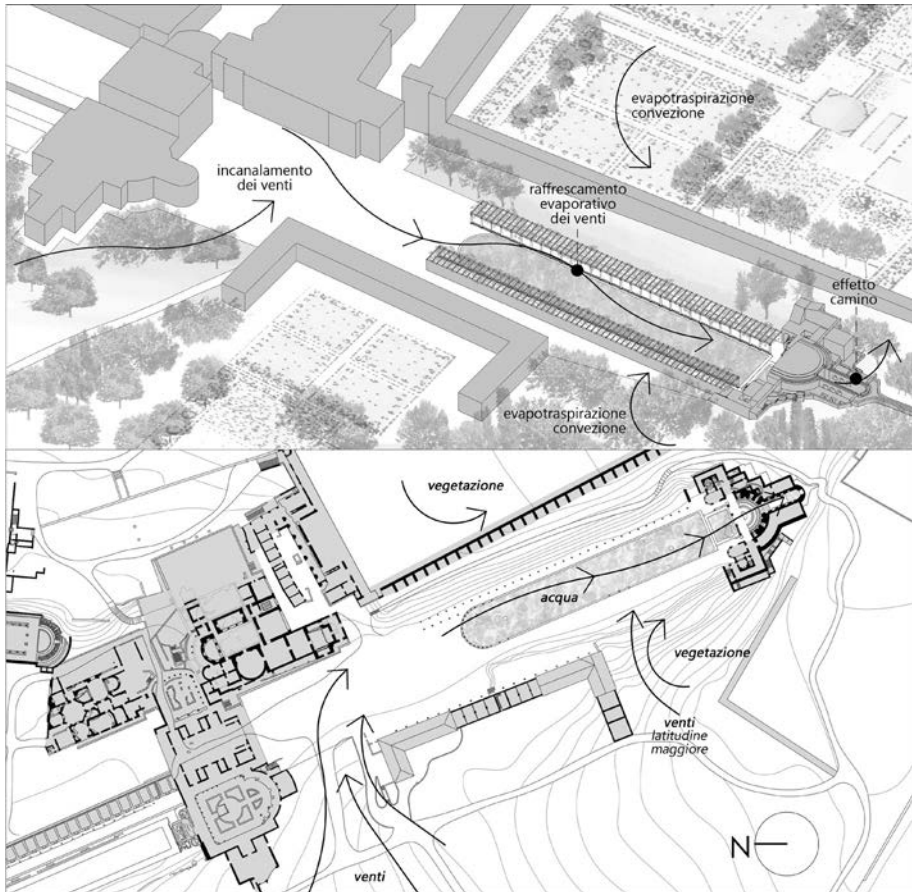
### **Canopo e Serapeo**

La valle del Canopo segue un'asse nord-sud che consente di predisporre un orientamento ideale verso nord per la fresca *coenatio* imperiale estiva nel triclinio del cd Serapeo<sup>54</sup>. Sebbene già il concetto espresso dal lemma 'valle' permetta di immaginare uno spazio circondato da alture, l'immagine attuale, con il lato settentrionale tanto aperto da rendere visibile il complesso del Serapeo già dall'area del Grande Vestibolo, vanifica parzialmente il concetto e si discosta molto da quanto doveva apparire in origine. Una osservazione a carattere volumetrico del costruito, infatti, consente di verificare come la valle era pressoché interclusa mediante alte costruzioni, elevate anche sulle creste dei pendii a est e a ovest (*fig. 8*). Tali costruzioni, in particolare quelle con imposta pari, o simile alla quota di calpestio della valle, lasciavano liberi solo alcuni minimi spazi, tra i quali quello di maggiori dimensioni è a nord-ovest, racchiuso tra il Grande Vestibolo e il complesso dei Mouseia.

Se già la conformazione artificiale del terreno, associata all'orientamento, alla posizione, alla conformazione e agli attributi tipologici e impiantistici del complesso Serapeo/Canopo risulta particolarmente vantaggiosa per ottenere un idoneo controllo climatico, lo spazio aperto a nord-ovest permetteva una canalizzazione, quasi forzata, dei pochi venti estivi. Questi, entrati nella valle, raffrescavano le particelle evaporate dell'acqua contenuta nella grande vasca del Canopo (peraltro circondata, e dunque ombreggiata, da vegetazione impiantata ad arte), per giungere al Serapeo, laddove l'eccezionale presenza di acqua nella forma di cascate e giochi d'acqua incrementava notevolmente il raffrescamento evaporativo.

Grazie alla posizione attribuita a tale complesso, con il terreno alle spalle, era peraltro possibile sfruttare anche il raffrescamento passivo geotermico (g). Infine, un ulteriore elemento del sistema passivo di comfort estivo è relativo alla parte meridionale e, in particolare, al grande condotto, con il lato sud sagomato a emiciclo, aperto in alto, che emerge dalla quota dal piano di

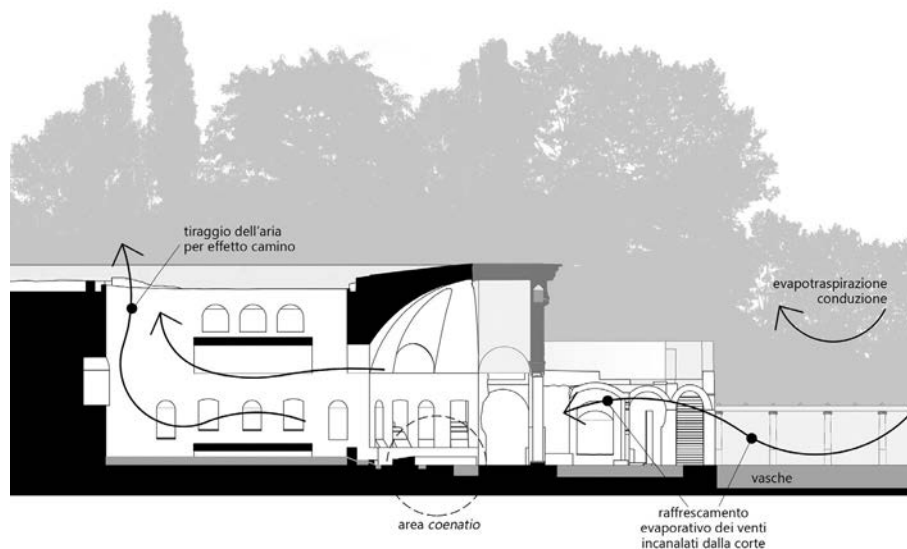
54. CINQUE, 2018, 203-204.



**Fig. 8.** Rappresentazione dei fattori bioclimatici che influenzano il microclima della valle del Canopo (autore).

campagna appena inferiore alla sommità della cupola. Un elemento che nelle sue caratteristiche permette un tiraggio naturale dell'aria per effetto camino, ossia grazie alla differenza di pressione motrice tra l'interno dell'ambiente e l'apertura in sommità (fig. 9).

Quanto per ora desumibile dagli esempi riscontrati nella Villa imperiale tiburtina, che peraltro corrispondono sia alle fonti, sia all'attuale letteratura specifica in merito all'architettura bioclimatica, nel validare l'attenzione dei progettisti antichi verso l'ottenimento del comfort residenziale, richiede maggiore interesse in tale settore e, in particolare, spinge a verificare ulteriori casi anche, ma non solo, in ragione degli spunti progettuali da desumere per una nuova e più consapevole architettura.



**Fig. 9.** Rappresentazione delle componenti di progettazione bioclimatica del Serapeo. Le parti della struttura di cui è presentata una ipotesi ricostruttiva sono state trattate con maggiore trasparenza rispetto a quelle oggi in situ (autore).

### Bibliografia

- ABRAMS, D.W. (1985): "Low-Energy Cooling" *A Guide to the practical Application of Passive Cooling and Cooling Energy Conservation Measures*, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, New York.
- ADEMBRI, B. E CINQUE, G.E. (2010): "Tecnica e tecnologia nell'Edificio con Peschiera di Villa Adriana", in *Lazio e Sabina*, 6, Atti del Convegno, Sesto Incontro di Studi sul Lazio e la Sabina, Roma, 4-6 marzo 2009.
- AHMED, R.M. (2014): "Lessons learnt from the vernacular architecture of bedouins in Siwa oasis, Egypt". In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 31, 1.
- ALBERTI, L.B. (1782) [1550]: *Della architettura della pittura e della statua*, traduzione dal latino di Cosimo Bartoli, Bologna.
- BEDAL, L.A. (2001): "A Pool Complex in Petra's City Center", in *Bulletin of the American Schools of Oriental Research*, 23-41.
- BEDAL, L.A. (2004): *The Petra Pool-Complex: A Hellenistic Paradeisos in the Nabatean Capital*, Piscataway NJ.
- BENSALEM, R. (1991): *Wind-Driven Natural Ventilation in Courtyard and Atrium-Type Buildings*, PhD thesis, University of Sheffield.
- BIANCHI, G.G. E MC CAVE, I.N. (1999): "Holocene periodicity in North Atlantic climate and deep-ocean flow south of Iceland", in *Nature*, 397, 515-517.
- BLOCH, H. (1937): "I bolli laterizi e la storia edilizia romana; la Villa di Adriano a Tivoli", in *Bullettino Commissione Archeologica Comunale di Roma*, 65, 113-181.
- BUX, E. (1956): *Xenophon: Die sokratischen Schriften. Memorabilien, Symposion, Oikonomikos, Apologie. Übertragen und herausgegeben von Ernst Bux*, Kröner, Stuttgart.
- CAMUFFO, D. (1990): *Clima e uomo*, Garzanti Editore, Milano.
- CAMUFFO, D. (1993): "Reconstructing the climate and the air pollution of Rome during the life of the Trajan Column", in *The Science of the Total Environment*, 128, 205-226.
- CINQUE, G.E. (2013): "Le componenti progettuali nell'architettura della villa Adriana: il nucleo centrale", in Hidalgo, R. e Leon, P. (a cura di), *Roma, Tibur, Baetica. Investigaciones Adrianeas*, Sevilla.
- CINQUE, G.E. (2017): *Le rappresentazioni planimetriche di Villa Adriana tra XVI e XVIII secolo: Ligorio, Contini, Kircher, Gondoin, Piranesi*, Roma.
- CINQUE, G.E. (2018): "Canopo e Serapeo", in Cinque, G.E. e Marconi, N., (a cura di), *Villa Adriana. Passeggiate iconografiche*, Foligno, 203-204.
- CINQUE, G.E. (2020): "Villa Adriana: uno sguardo a volo d'uccello", in Hidalgo, R., Cinque, G.E. e Viscogliosi, A., (a cura di), *Adventus Hadriani, Investigaciones sobre arquitectura adrianea*, 403-439.



- CINQUE, G.E. e MARCONI, N. (a cura di) (2018): *Villa Adriana. Passeggiate iconografiche*, Foligno.
- CORREIRA, M., DI PASQUALE, L. e MECCA, S. (a cura di) (2014): *Versus: heritage for tomorrow: vernacular knowledge for sustainable architecture*, Firenze.
- DALLEY, S. (1993): "Ancient Mesopotamian Gardens and the Identification of the Hanging Gardens of Babylon Resolved", in *Garden History*, 21 (1), 1-13.
- DALLEY, S. (1994): "Nineveh, Babylon and the Hanging Gardens: Cuneiform and Classical Sources Reconciled", in *Iraq*, 56, 45-58.
- DERMODY, B. (2011): "Revisiting the humid Roman Hypothesis: novel analyses depict oscillating patterns", in *Climate of the Past Discussions*, 7(4), 2355-2389.
- DERMODY, B.J., ET AL. (2012): "A seesaw in Mediterranean precipitation during the Roman Period linked to millennial-scale changes in the North Atlantic", in *Climate of the Past*, 8(2), 637-651.
- DI TURI, S., ET AL. (2017): "Recovery of ancient bioclimatic strategies for energy retrofit in historical buildings: the case of the Infants' Tower in the Alhambra", in *Energy Procedia*, 133, 300-311.
- DUAN, Z., ET AL. (2012): "Indirect evaporative cooling: Past, present and future potentials", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 16, 9, 6823-6850.
- DUNHAM, D. (1960): "The Courtyard House as a Temperature Regulator", in *The new Scientist*, 663.
- DUNKLE, V. (1966): "Regenerative Evaporative Cooling Systems, CSIRO, AIRAH TRANSACTION", in *Australia Refrigeration, Air Conditioning and Heating*.
- EYASAF, R.S. (2010): "Gardens at a Crossroads: The Influence of Persian and Egyptian Gardens on the Hellenistic Royal Gardens of Judea", in *Bollettino di Archeologia on line*, D / D9 / 5.
- FATHY, H. (1973): *The Arab house*, Exeter University, England.
- FOSTER, K. (2004): "The Hanging Gardens of Nineveh", in *Iraq*, 66, 207-220.
- GATTO, E., ET AL. (2020): "Impact of Urban Vegetation on Outdoor Thermal Comfort: Comparison between a Mediterranean City (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland)", in *Forests*, 11, 228.
- GROSSO, M. (2002): "La ventilazione naturale per il raffrescamento passivo", in *L'Architettura naturale*, 15.
- HARPER, K. (2019): *Il destino di Roma. Clima, epidemie e la fine di un impero*, Torino, Giulio Einaudi.
- HARVEY, W. (1991): "Archaeology in Syria", in *American Journal of Archaeology*, 95, 4, 683-740.
- HOFFMANN, A. (1980): *DasGarten-Stadion in der Villa Hadriana*, Mainz.
- IGHANY, G. (2008): "Le torri del vento in Iran", in *Agalbon, Recupero e fruizione dei contesti antichi*, 2.
- JASHEMSKI, ET AL. (2017): *Gardens of the Roman Empire*, Cambridge.
- JOHNSON, W. (1995): "Traditional Architecture in the Middle East Has Ways of Keeping Cool", in *Kingdom of Saudi Arabia: ARAMCO World*, 10-17.
- JONES, H.G. e ROTENBERG, E. (2011): "Energy, Radiation and Temperature Regulation in Plants", in *eLS*.
- KANELOPOULOS, C. e AKASHEH, T.S. (2001): "The Petra Map", in *Bulletin of the American Schools of Oriental Research* 324, *Nabataean Petra*, 5-7.
- LAPP, N.L. 1980: "The Excavations at Araqel-Emir", in *The Annual of the American Schools of Oriental Research*, 47, 1, 1-158.
- LEKAN, M.A., ET AL. (2017): "Innovative green approach informatics to managing thermal sources and its effect in residential buildings in tropical climate", in *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8 (12), 175-184.
- MALAPERDAS, G., (2019): "The Influence and Impact of Bioclimatic Indicators on the Evolution of Biosociety: A Geoarchaeological approach", in *World News of Natural Sciences*, 24, 183-198.
- MARCONI, N. (2018): "Biblioteche", in Cinque, G.E. e Marconi, N. (a cura di), *Villa Adriana. Passeggiate iconografiche*, Foligno, 229-230.
- MOHSEN, M.A. (1979): "Solar radiation and courtyard house forms-II: application of the model", in *Building and Environment* 14, 185-201.
- NAGA, M.M.A. (1990): *Natural ventilation and cooling by evaporation in hot-arid climates*, University of Leeds, Department of Civil Engineering, Ph.D. Thesis, February.
- NETZER, E. (1981): *Greater Herodium. Qedem 13*, Jerusalem, Institute of Archaeology, Hebrew University of Jerusalem.
- NETZER, E. (1995): "The Hasmonean Swimming Pools at Jericho", in *Eretz Israel*, 18, 344-52.
- NETZER, E. (1999): *The Palaces of the Hasmonean and Herod the Great (Hebrew)*, Jerusalem.
- NETZER, E. (2000): "Tyros, the 'Floating Palace'". In Wilson, S. G. e Desjardins, M. (a cura di), *Text and Artefact in the Religions of Mediterranean Antiquity. Essays in Honour of Peter Richardson*, Waterloo, Ontario, 340-53.
- NETZER, E. (2001): *Hasmonean and Herodian Palaces at Jericho, Final Reports of the 1973-1987 Excavations*, Vol. I: *Stratigraphy and Architecture*, Jerusalem.
- NIELSEN, I. (1994): *Hellenistic Palaces: Tradition and Renewal*, Aarhus.
- NIELSEN, I. (1996): "Oriental Models for Hellenistic Palaces?", in Hoepfner, W. E e Brands, G. (a cura di), *Basilei: Die Paläste der Hellenistischen Könige*, Mainz, 201-212.
- NZEB, n.d.: *Form & Orientation*. Disponibile a: <<https://nzeb.in/knowledge-centre/passive-design/form-orientation/>>.
- OLGWAY, V. (1963): *Design with climate-Bioclimatic approach to architectural Regionalism*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

- PINTO, J.A. E MAC DONALD, W. (2002): *Villa Adriana - La costruzione e il mito da Adriano a Louis I. Kahn*, trad.it, Milano.
- POTCHTER, O. (1990/91): "Climatic Aspects in the Building of Ancient Urban Settlements in Israel", in *Energy and Buildings*, 15-104.
- ROAF, S. (1990): "The Traditional Technological Trap: Stereotype of Middle Eastern Traditional Building Types and Technologies", in *TRIALOG*, 25, 26-33.
- SALZA PRINA RICOTTI, E. (2001): *Villa Adriana. Il sogno di un imperatore*, Roma.
- SHETABIVASH, H. (2015): "Investigation of opening position and shape on the natural cross ventilation", in *Energy and Buildings*, volume 93, 1-15.
- SKAT, (1993): *Climate responsive Building*.
- SODHA, M.S., ET AL. (1986): "Thermal Performance of an Evaporatively Cooled Multi-Storey Building", in *Building and Environmental*, Vol. 21, 2, 71-79.
- SPENA, A. (2004): *Domus bioclimatica, Il Palazzo d'Inverno*, Incontro Internazionale di Studio 22/23/24 - novembre 2004 e organizzato dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali-Direzione Generale per i Beni Archeologici, dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Lazio e dall'Università degli Studi di Roma Tor Vergata- Facoltà di Ingegneria.
- STRONACH, D. (1994): "Parterres and Stone Water Courses at Pasargadae: Notes on the Achaemenid Contribution to Garden Design", in *Journal of Garden History*, 14 (1), 3-12.
- SULEIMAN, S. E HIMMO, B. (2012): "Direct comfort ventilation. Wisdom of the past and technology of the future (wind-catcher)", in *Sustainable Cities and Society*, 5, 8-15.
- TUCCI, F. (2021): *Raffrescamento passivo in architettura. Passive cooling in architecture*, Firenze, Altralinea Edizioni.
- WILKINSON, A. (1998): *The Garden in Ancient Egypt*, London.
- WKB, J.R.W. (1997): *Evaporative Air Conditioning Handbook*, terza edizione, Fairmont Press.
- ZANKER, P. (2008): *Arte romana*, Bari, Economica Laterza.