

Giuliana Galli

giuliana.galli66@gmail.com

Riccardo Frontoni

r.frontoni@gmail.com

archeologi ass. coll. Sopr. Speciale per il Colosseo, MNR, Area Archeologica di Roma

L'impiego dell'energia solare sin dall'antichità: alcuni dati dalla villa dei Quintili Appia Antica (Roma)

Sommario

La comprensione della potenza della luce solare come fonte d'illuminazione, di riscaldamento e quindi di benessere per l'uomo, è stato il motore di ricerca che ha portato sia all'orientamento degli edifici per catturare la luce e il calore solari, sia alla scoperta e all'uso del vetro da finestra per avere ambienti illuminati e naturalmente riscaldati nelle abitazioni private e negli edifici pubblici, come ampiamente attestato almeno dall'epoca imperiale romana [1].

Il sole, quindi, non è solamente fonte di eccessivo calore e illuminazione da cui doversi riparare, così come riporta lo stesso Plinio, il quale afferma che nell'arena del Colosseo era quasi più interessante lo spettacolo dei marinai addetti al funzionamento della straordinaria copertura di lino che schermava gli spettatori, che non i giochi gladiatori![2].



Villa dei Quintili: finestre del *calidarium* (foto R. Frontoni, archivio SSBAR).

Ci si doveva riparare sicuramente, ma si doveva anche, in qualche modo, sfruttare l'energia solare.

In particolare, nell'ambito delle tre campagne di scavo (1998-2010) promosse dalla Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'Area Archeologica di Roma nella villa suburbana dei fratelli Quintili sull'Appia Antica (II ed il IV sec. d. C.), alcune scoperte rivelano come l'uso dell'irraggiamento solare venisse sfruttato sotto ogni aspetto, a partire dai vari forni alimentati da legna, prodotta e stagionata grazie al sole: uno per produrre vetro da finestra, uno per ricavare la calce per confezionare la malta con cui sono state realizzate le murature della residenza imperiale, gli altri per riscaldare gli ambienti; per finire con il ritrovamento di frammenti di vetro piano con residui del mastice che li incollava ai telai, il tutto legato sempre al ciclo virtuoso dell'energia solare.

1. Introduzione

E' interessante, ma anche impressionante dal punto di vista di uno storico o di un archeologo, vedere come oggi si inseguano, alla maniera dei tempi passati, sistemi di risparmio ecologico, si parli di bioarchitettura (architettura bioclimatica o architettura passiva), dopo aver depauperato il nostro pianeta di importanti risorse naturali riempiendolo, nel contempo, di scarti inquinanti, nell'ambito di un processo irreversibile scatenato in un frangente di scollamento totale dell'uomo dalla natura.

Attualmente esistono importanti studi [3], tesi di laurea e di dottorato di ricerca sempre più numerosi sui metodi che tendano al risparmio energetico, con analisi approfondite sulle varie situazioni ambientali a latitudini diverse (risulta che in Italia, ad esempio, solo nelle zone centro-settentrionali il consumo di energia in inverno sia inferiore a 15 kWh, termici, per metro quadrato calpestabile l'anno, sviluppando una richiesta di energia inferiore dell'80-90% rispetto alle generazioni precedenti) [4]; ci si è accorti finalmente che un'energia inesauribile, gratuita e "pulita" è quella solare, dopo evidentemente un periodo di "Alzheimer collettivo" durato secoli.

Si è arrivati ad avere una Direttiva Europea 2002/91/CE riguardo il "Rendimento energetico nell'edilizia" sullo sviluppo di tecniche per il raffrescamento passivo teso al miglioramento del comfort interno e del microclima attorno all'edificio: attenzioni per la salvaguardia dell'ambiente ed un uso razionale delle risorse, ribadite a livello europeo, quando già in epoche precedenti, e in particolare in quella romana, per fare un esempio concreto e più attestato, c'era già una notevole considerazione sull'orientamento degli edifici rispetto alla luce solare e al riscaldamento comunque legato al ciclo virtuoso dell'energia solare, alla ricerca del comfort termico.

2. Progettazione ed orientamento degli edifici secondo le fonti: alcuni esempi

Marco Vitruvio Pollione (80-15 a. C.) nel quinto libro "Sull'architettura" concentra la sua attenzione sulla costruzione degli edifici pubblici:

"Le basiliche sorgeranno vicine al foro nelle zone più calde cosicché durante l'inverno gli uomini d'affari vi possano trovar riparo senza sentire i rigori dell'inverno. La loro larghezza non dev'essere inferiore ad un terzo della lunghezza né superiore alla metà, a meno che la natura del luogo non imponga una variazione delle proporzioni" [5]
Riguardo agli edifici termali, si esprime così:

"Prima di ogni altra cosa bisogna scegliere il luogo più caldo possibile e di conseguenza non esposto a tramontana o grecale. I calidari e i tepidari ricevano luce dall'occidente invernale o almeno da mezzogiorno se le caratteristiche del posto impediscono la prima soluzione, dato che l'ora del bagno è principalmente compresa nel lasso di tempo che va da mezzogiorno al tramonto. Inoltre si faccia attenzione che i calidari per gli uomini e quelli per le donne siano disposti nella stessa zona e attigui così da poter sfruttare entrambi l'acqua calda proveniente dalla stessa fonte. Sopra il focolare sotterraneo vanno collocate tre caldaie: una per l'acqua calda, una per quella tiepida, una per quella fredda, e disposte in modo che per ogni quantitativo d'acqua che passi dal tepidario al calidario, altrettanta ne venga immessa dal frigidario al tepidario, mentre una fonte di calore comune riscaldere le volte delle fornacette (...) La vasca riceverà luce dall'alto affinché quelli che aspettano il loro turno lungo i bordi non

facciano ombra” “La sala per le stufe e il sudatoio devono essere vicini al tepidario, ampi tanto quanta è la loro altezza fino alla base dell’emisfero della volta, al centro della quale va lasciata un’apertura per la luce. Ad essa sarà appeso per mezzo di catene un disco di rame, abbassando o alzando il quale si regolerà la temperatura dell’ambiente. La sua forma sia perfettamente circolare affinché l’effetto della fiamma e del vapore si distribuisca omogeneamente tutt’intorno irradiandosi dal centro” [6].

Parla anche delle coperture: “Le volte siano preferibilmente in muratura e, nel caso di copertura in legno, occorrerà rivestire in cotto seguendo questo procedimento: si appendano alle travi per mezzo di uncini delle asticelle di ferro ad arco il più fitte possibile in modo da potervi poggiare delle tegole senza orlo; si otterranno delle volte poggianti interamente su di una struttura in ferro (...) il vapore circolando nell’intercapedine non danneggerà la travatura” [7].

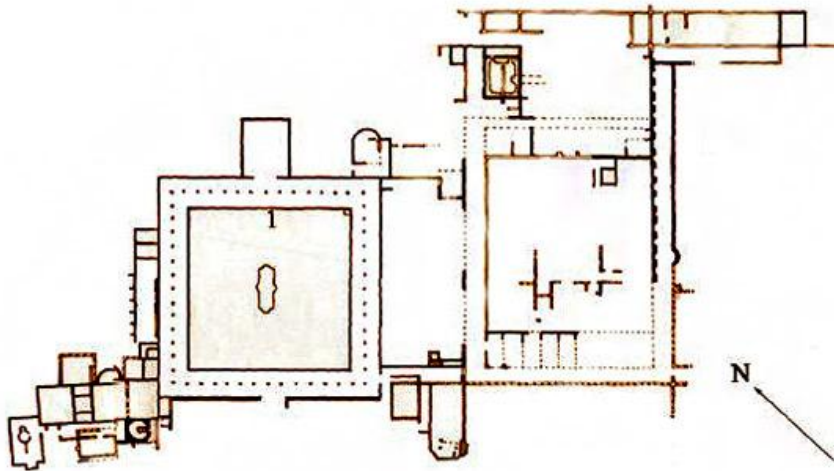


Fig. 1 – Planimetria della villa laurentina di Plinio (da www.romanoimpero.it)

Una menzione a parte meritano le ville d’ozio dell’aristocrazia romana, situate fuori città (suburbane), spesso in contesti ameni, con estese fattorie per la produzione in proprio di pesce, carni, ortaggi e vino, e progettate ovviamente con tutte le accortezze del caso e dove i progettisti si sono potuti esprimere al massimo. Avendo oggi solo ruderi di strutture fatiscenti ci dobbiamo affidare ai testi letterari del periodo.

Plinio il Giovane (61-113 d.C.) nell’Epistola all’amico Gallo, descrivendo la sua villa Laurentina, oggi Castel Porziano (tra *Laurentum* e Castel Fusano), afferma che vicino al triclinio, illuminato da finestre, si trova un salone con due finestre una per la luce quotidiana, l’altra per guardare il tramonto: salone e triclinio formano un angolo che a detta di Plinio “raccolge i raggi del sole e si riscalda. (...) Lo spazio è protetto dai venti”[8].

Dopo la descrizione dell’area termale parla dello sferisterio, spazio all’aperto dove si gioca a palla, che riceve la luce solare solamente poco prima del tramonto, proprio per evitare l’accaldamento eccessivo dei giocatori e il fastidio del sole negli occhi.

Quindi è la volta di uno dei triclini che si affaccia sul giardino con vialetti limitati da bossi e rosmarini, con l’indicazione che il bosso sviluppa bene solo al coperto degli edifici; è presente anche un pergolato di viti lungo il lato interno di un viale e fichi e gelsi

all'intorno. Il porticato, disposto a protezione del sole, con finestre che restano aperte o chiuse a seconda del tempo è assolutamente attuale. Una frase ci stupisce: “*Sotto il porticato si ha un minimo di sole in piena estate, quando la posizione del sole è alta e, quando le finestre sono aperte, i venti freschi occidentali possono penetrarvi e spingere fuori l'aria calda*”. Attenzioni da esperti in Bioarchitettura!

Infine descrive il suo padiglione privato (*diaeta*) posto in cima alla terrazza con un panorama splendido sul mare e sul territorio circostante dove sono altre ville. Un ambiente di questi è denominato *heliocaminus*, una sorta di *caldarium-solarium* dove Plinio si ritirava spesso.

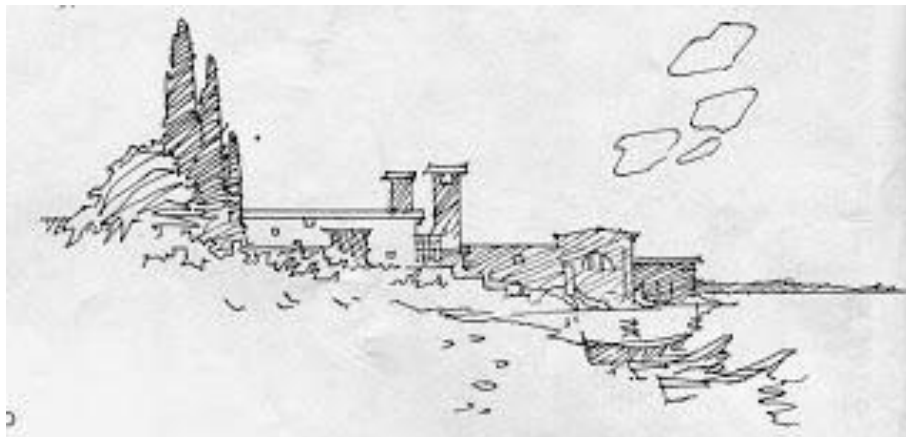


Fig. 2 – Sezione ricostruttiva della villa laurentina (da www.architetturabioclimatica.blogspot.com)

Plinio possedeva anche un'altra villa in Umbria a *Tifernum Tiberinum* (Città di Castello) ai piedi dell'Appennino e la descrive dettagliatamente in una lettera all'amico Apollinare [9]: l'esposizione della villa è con le spalle alle montagne, dalle quali scende il vento freddo, e aperta verso la valle e il panorama a sud con un porticato che riceve il sole. Nel giardino sono viali con lauri e siepi di bosso tagliati a forma di animali (la cd *ars topiaria*). Al centro del porticato un padiglione (*diaeta*) con camera da letto, ombreggiato da platani e rinfrescato da una grande vasca. Anche al lato del porticato c'è una camera da letto, riscaldata dal sole in estate e da un ipocausto in inverno. Vedremo di seguito l'uso di questo tipo di riscaldamento alimentato da forni a legna alloggiati in ambienti di servizio.



Fig. 3 – Portici in una villa marittima da un affresco pompeiano (da www.napolitan.it)

Dopo la descrizione delle terme private, con le tre vasche soleggiate del calidario, segue quella dei porticati tra i vigneti, all'estremità dei quali si trovano alcune stanze, una in particolare molto soleggiata d'inverno.

I porticati sono un elemento fondamentale che permette percorsi coperti e riparati con alcune soste in stanze (le *diaetae*) piene di luce od opportunamente ombreggiate a seconda del periodo dell'anno.



Fig. 4 – Portici in una villa residenziale da un affresco pompeiano (da www.arteincostruzione.blogspot.com)

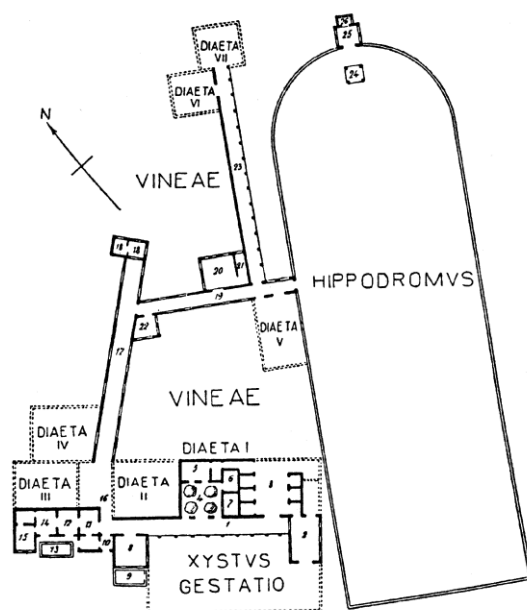


Fig. 5 – Planimetria della villa di Plinio in Umbria (ricostruzione di H. Winnefeld, Arch.Jahrbuch 6, 1891)

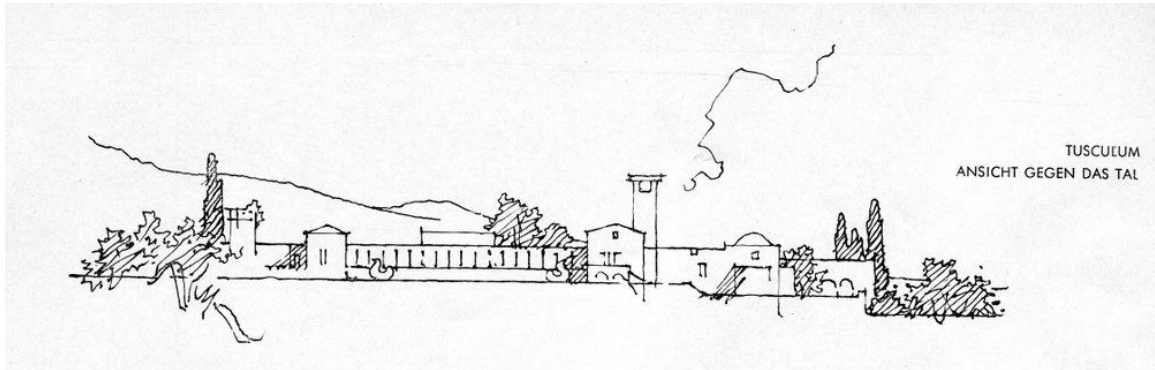


Fig. 6 – Sezione ricostruttiva della villa (H. Döllgast)

3. Il vetro

La “cattura” della luce nelle abitazioni e negli edifici pubblici, oltre che come accumulo di calore e di energia, è intesa come illuminazione, cosa impensabile senza l’uso di un materiale trasparente e protettivo come il vetro. Vetro che, sotto forma di pasta vischiosa, già intorno al 1500 a.C. tra Mesopotamia ed Egitto, era usato per realizzare recipienti intorno ad un’anima di sabbia che poi veniva tolta; secondo i ritrovamenti e le attestazioni delle fonti antiche, la soffiatura e con essa probabilmente anche il vetro da finestra, è attestata in Fenicia e databile intorno al I secolo d.C. L’enorme diffusione che ebbe in Occidente fu sempre, in qualche modo, legata alle maestranze e alle tradizioni orientali e il commercio e il trasporto di materiale grezzo sono confermati dal ritrovamento di numerosi relitti di navi nel bacino del Mediterraneo.

Il vetro da finestra poteva essere realizzato sia a colatura su stampo sia tramite soffiatura, dando forma a cilindri che venivano aperti a caldo [10].

Si pensi alla rivoluzione per quei tempi considerando l’alta conduttività del vetro: una lastra dello spessore di 4 mm ha una trasmittanza termica di 5,8 kW/m², ripara dal vento, permette l’irraggiamento e il riscaldamento solare degli ambienti..

Oggi addirittura esistono vetri selettivi, capaci cioè di filtrare la luce solare selezionando le radiazioni luminose, o vetri dotati di intercapedine d’aria per isolamento acustico.



Fig. 7 – Villa dei Quintili, frammento di vetro da finestra: sono ancora visibili le tracce del mastice che lo incollava al telaio e le bolle della soffiatura. Databile al II sec.d.C. (foto G. Galli, archivio SSBAR)

Dagli scavi archeologici nella Villa dei Quintili che affronteremo di seguito, provengono cospicui frammenti di lastre da finestra, dei quali alcuni soffiati (fig. 7), ritrovati soprattutto nei condotti fognari delle latrine e in qualche sala di rappresentanza.

La chiusura trasparente delle finestre, in particolar modo di quelle alte, permetteva la penetrazione della luce solare più in profondità.

Dell'esistenza di un materiale trasparente utilizzato per chiudere le bucatore delle finestre nei portici lo apprendiamo da Plinio il Giovane nella descrizione della sua villa laurentina [11]:“(…) *si entra dall'atrio, un ambiente semplice ma elegante, a cui segue un portico incurvato a forma di D che racchiude un piccolo cortile. Il porticato è un ottimo riparo quando il tempo è avverso, perché è vetrato ed è protetto da un tetto sporgente*”. Quando parla poi del triclinio che sporge verso il mare e le sue fondamenta sono bagnate dall'acqua, afferma che “*è illuminato da grandi finestre vetrate su tre lati, attraverso le quali ammirare il mare. Nella direzione opposta si guarda verso il cavedio, il porticato e l'atrio, sui boschi e i lontani monti*”: se fosse *lapis specularis*, una sorta di gesso macrocristallino, oppure vetro è in dubbio, ma il fatto che questo fosse già molto diffuso all'epoca di Plinio è ormai una certezza.

4. Villa dei Quintili: alcuni dati

Una delle più grandi ville suburbane di Roma, la Villa dei Quintili sull'Appia Antica, è stata interessata da tre campagne di scavo (1998-2011) promosse dalla Soprintendenza Speciale ai Beni Archeologici di Roma e condotte dagli autori di questo contributo (fig. 11) [12]. Sorge su un promontorio di basalto sopra il quale è stata costruita anche la via Appia nel 313 a.C. da Appio Claudio Cieco.

Dai fratelli Quintili la proprietà passò nelle mani dell'imperatore Commodo che gliela sottrasse nel 182 uccidendoli con la scusa di una congiura contro di lui: probabilmente perché doveva presentarsi particolarmente lussuosa e piena di comfort.

Dalle descrizioni di Plinio possiamo immaginare come già i fratelli Quintili, facoltosi consoli di origine greca, potessero mantenere questa residenza d'ozio al V miglio da Roma (fig. 8): una volta diventata imperiale è stato accresciuto lo sfarzo e l'ampliamento con edifici di spettacolo, su un impianto in gran parte già esistente.

La distribuzione dei settori, ove possibile, è stata pensata facendo riferimento ai dettami e alle conoscenze tradizionali sull'architettura che oggi chiamiamo “climatica” ma che, in realtà, si adeguava a scelte del tutto naturali.



Fig. 8 - Villa dei Quintili, vista interna del frigidario
(foto G. Galli, archivio SSBAR)

Il settore di residenza privato, ad esempio, con la zona riservata alle camere da letto (*cubicula*) e alle piccole terme è orientato verso est e il levarsi del sole; il settore di rappresentanza, con un grande cortile scoperto e la torre ottagonale-triclinio invernale è il cuore della villa, riparato all'interno del costruito. I giardini porticati con vasche e giochi d'acqua li troviamo a far da cuscinetto tra la parte privata e le terme di rappresentanza, dislocate sì verso nord ma orientate in modo da poter catturare o meno la luce solare (fig.10): su tutti e quattro i lati per il *calidarium*, con grandi finestre probabilmente vetrate a giudicare dal ritrovamento dei vetri da finestra, e alte su due lati corti nel *frigidarium*, per mantenere la frescura (fig. 9). Anche nelle varie stanze del *tepidarium*, allocate tra le due grandi aule termali, le finestre, quando presenti, sono piuttosto alte, in corrispondenza di terrazze a copertura degli ambienti di servizio ipogei. Qui si trovano le bocche dei forni per il riscaldamento mantenuto attivo da stuoli di schiavi.

Fig. 9 - Villa dei Quintili, grandi aule termali viste dai giardini porticati (foto R. Frontoni, archivio SBBAR)



La posizione in zona extra-urbana, dove l'incidenza del vento è maggiore rispetto all'area urbana in cui esiste un'alta densità edilizia, determina anche l'abbassamento della temperatura, per cui nella villa sono stati previsti numerosi forni e caldaie per il riscaldamento ad ipocausto (sistema che prevedeva forni alimentati a legna).

Interessante la presenza di pavimenti con intercapedine (*suspensura*), realizzata con pile di piccoli mattoni (bessali) e di pareti completamente cave, realizzate qui in particolare con tubi a sezione rettangolare, dove circolava l'aria riscaldata proveniente dai forni.

Nel *calidarium*, in particolare, sono stati ritrovati tre alloggiamenti per le caldaie di bronzo per riscaldare l'acqua, di fronte alle bocche dei forni: avevano la stessa funzione dei vecchi "boiler" un tempo presenti nelle nostre case.

Anche le ville di Plinio avevano il riscaldamento ad ipocausto che stagionalmente sopprimeva al riscaldamento solare e funzionava con lo sfruttamento della legna, prodotto essa stessa della luce solare. Le pareti anche d'estate, proprio per questa intercapedine, si mantenevano fresche e asciutte: come consigliato anche oggi in determinate situazioni di umidità, una opportuna intercapedine permette di attirare, tramite il calore esterno, l'aria ascendente (calore dissipato) mantenendo asciutta la stanza e proteggendola nel contempo da vento e freddo esterni.



Fig. 10 - Villa dei Quintili, grandi finestre sovrapposte lungo i lati brevi del calidario (foto R. Frontoni, archivio SBBAR)

**OTTICA E FOTONICA PER RACCOLTA E
IMMAGAZZINAMENTO DELLA LUCE DEL SOLE**
Brescia, 28/10/2016

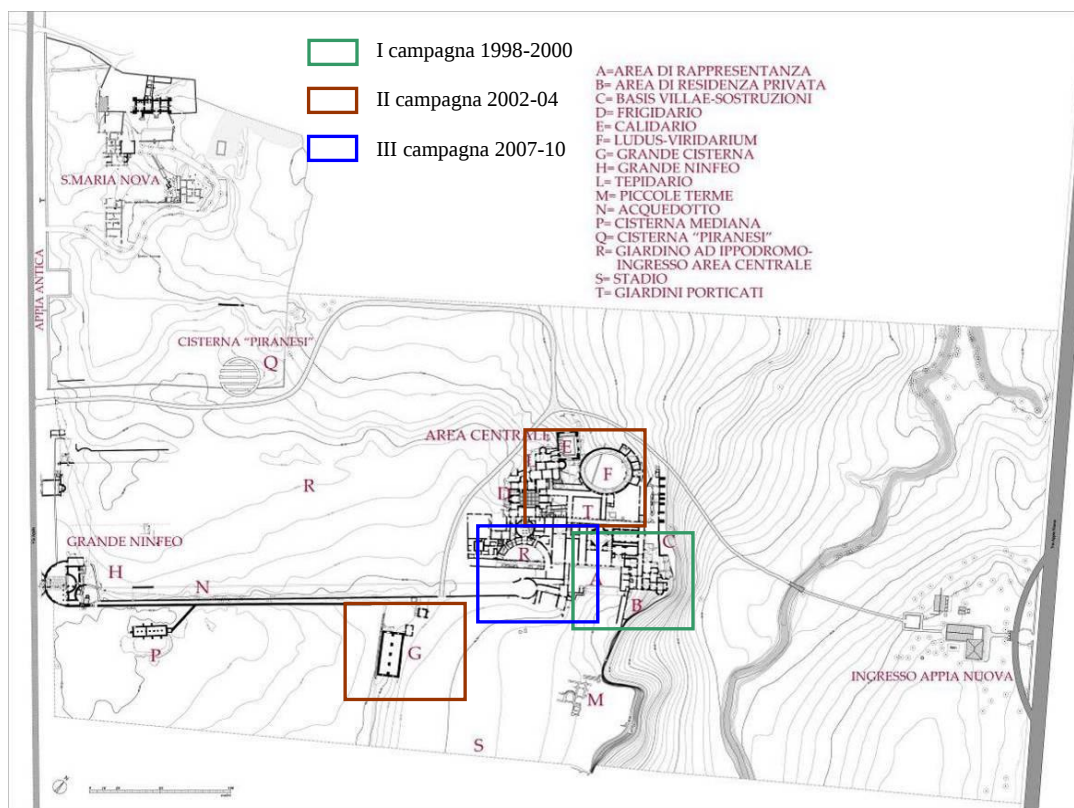


Fig. 11 - Planimetria della Villa dei Quintili, Appia Antica. Evidenziate le aree delle tre campagne di scavo archeologico (rilievo M.C.M. S.r.l., elaborazione G.Galli, R.Frontoni).

Le coperture a capriata lignea, andando a costituire un sottotetto come nell'antichità, sono previste per un'ottimale ventilazione e traspirazione dell'edificio. Gli scavi realizzati nella residenza imperiale hanno riportato alla luce una rete di intercapedini sotto i pavimenti e lungo le pareti fino al camino d'uscita sul tetto (figg.12-13-14), strutture forate che oggi sono imitate, e consigliate, per raggiungere il comfort termico ideale (figg. 15-16).

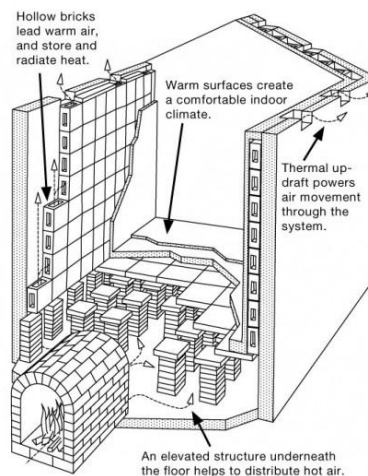
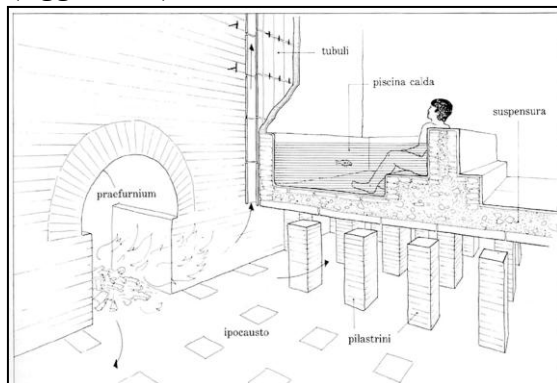
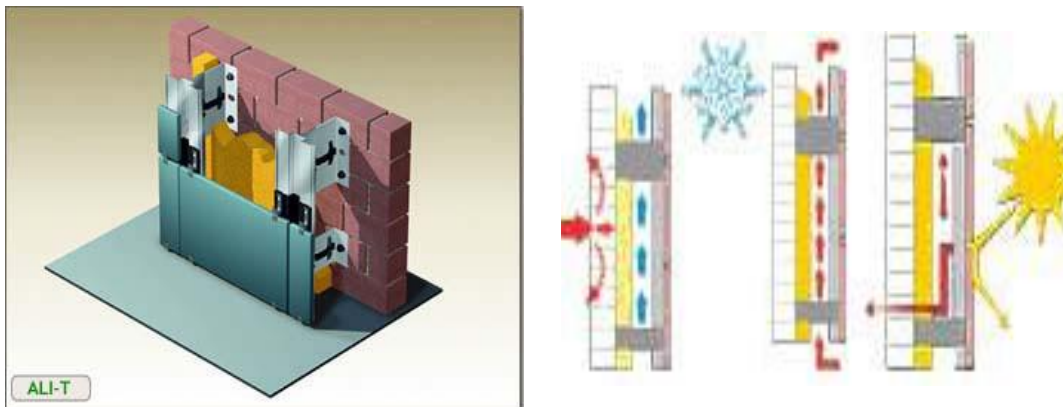


Fig. 12 - Ipocausto, schema ricostruttivo (da J.P.Adam, La construction romaine, Paris 1984 e da www.virtusantiqua.ro).

**OTTICA E FOTONICA PER RACCOLTA E
IMMAGAZZINAMENTO DELLA LUCE DEL SOLE**
Brescia, 28/10/2016



Figg. 13-14 - Villa dei Quintili, intercapedini sotto il pavimento (*suspensura*) e lungo le pareti (*tubuli*) nascoste dietro ai rivestimenti, in una delle stanze termali.



Figg.15-16 - Intercapedini moderne per isolamento dall'esterno e ventilazione della facciata (da Pensato 2009).



Fig. 17 - Villa dei Quintili, condotto del forno, scoperto sotto al pavimento di una delle sale del tepidario (foto G. Galli, archivio SBBAR).

Le accensioni dei fuochi erano effettuate da schiavi in ambienti di servizio dislocati generalmente nei sotterranei: qui sono stati ritrovati gli imbocchi dei forni (*praefurnia*), canali stretti che conducevano il calore direttamente sotto ai pavimenti (fig. 17).

Il combustibile era legname reperito nei boschi vicini, legato al ciclo “bioclimatico” del sole, sebbene, intorno al I secolo d.C., si cominciasse ad avvertire la necessità di frenare il forte disboscamento.

Testimonianza importante sulla produzione del vetro in epoca imperiale romana è stata la scoperta di una fornace di m 1,70 x 3,00 x h.cm 20-90, a due camere consecutive con tracce di squaglio vetroso, senza più la copertura originaria, in un corridoio di collegamento tra le terme di rappresentanza e il piccolo teatro: una delle pareti della seconda camera reca ancora attaccati grumi vetrosi entro frammenti di crogioli, per una prima fusione intorno ai 700 gradi, l'altra conserva tracce cospicue di fusione di vetro (figg.18-19). Proprio per questa suddivisione in due camere potrebbe trattarsi di un forno da vetro di età tardo romana[13], il che tornerebbe con la caduta in disuso del pavimento in mosaico, di età adrianea, dove è fondato il manufatto.

Fig. 18 - Villa dei Quintili, forno da vetro (foto S. Castellani, archivio SBBAR).



Fig. 19 - Villa dei Quintili, forno da vetro particolare della parete con frammenti vitrei ancora attaccati ai crogioli (foto S. Castellani, archivio SBBAR).

Altra attestazione dell'uso dell'energia solare nell'antichità è il ritrovamento di una fornace da calce circolare, alimentata con legna sfruttando gli stessi forni per il riscaldamento termale della villa (fig. 20).

L'impiego della calce ottenuta tramite la cottura dei calcari locali, elemento fondamentale per la realizzazione del calcestruzzo romano insieme a sabbia, pozzolana e inerti, è una "rivoluzione" nella costruzione degli edifici [14]: considerato un po' il cemento attuale, portò alla creazione di imponenti strutture e coperture con enormi gettate entro centine di legno come nel caso della cupola del Pantheon a Roma, una delle più grandi mai realizzate nell'antichità, provvista di apertura centrale a *oculum* per la luce solare e completamente cassettonata per modulare la luce e alleggerire otticamente le masse di calcestruzzo.

Una scoperta molto importante a questo proposito è stata quella, effettuata nel 2003, di un deposito di grassello di calce ancora fresco dopo centinaia di anni, in un sottoscala della sala ottagonale, a riempire l'ambiente di 4 x 1,5 m. (fig. 21).



Fig. 20 - Villa dei Quintili, fornace da calce (foto G. Galli, archivio SBBAR).

Fig. 21 - Villa dei Quintili, deposito di grassello di calce (foto R. Frontoni, archivio SBBAR).

Conclusioni

Nei tempi moderni si rincorre l'architettura cosiddetta "bioclimatica" come se si fosse dimenticato che anticamente, per secoli, proprio per un indissolubile legame con la natura, si era piuttosto attenti alla progettazione "orientata" degli edifici rispetto all'energia solare e si usava combustibile "biologico" non fossile come la legna.

Inoltre, la disposizione di corpi di fabbrica pensati come "radiator" quali i portici o i cortili porticati, posti in zone da rinfrescare nelle residenze dell'aristocrazia romana, era un altro trucco per raggiungere il comfort termico. Tutta l'architettura romana incentrata sull'uso del calcestruzzo e della calce è legata al ciclo virtuoso dell'energia solare per l'uso della legna nella cottura della pietra calcarea.

La scoperta del vetro come chiusura trasparente alle finestre ha completato la rivoluzione in atto nella progettazione degli edifici residenziali e termali ormai pensati in funzione della luce solare. Luce dalla quale spesso ci si doveva anche riparare, se si pensa agli edifici di spettacolo: esempio eclatante sono i *velaria*, enormi coperture di tela, tipo grandi vele di navi, manovrate da marinai esperti (*nautae*) sopra le teste degli spettatori nelle arene degli anfiteatri per dare riparo e protezione.

Si ringrazia la dott.ssa R.Paris direttore del Monumento, della Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'Area Archeologica di Roma per aver permesso la pubblicazione dei dati.

Bibliografia

- [1] Perlin J., Butti K., Case e città solari del Mediterraneo antico, in Sapere, ottobre 2006, pp.92-97; Silvi C., Le città solari dal passato al futuro, ibidem, p. 94.
- [2] Chambon R., Velario del Colosseo. Fine dell'enigma, 2013 in www.velum-colisee.com; Pl., NH, XIX, 6,23;
- [3] Lechner N., Heating, cooling, lighting: design methods for Architects, 2008;
- [4] Pensato D., Strategie passive e di controllo termico degli edifici alla scala urbana ed edilizia, tesi di laurea discussa a Bologna a.a. 2008-09;
- [5] *De Arch* V, 1,4;
- [6] *De Arch* V, 10,1-4;
- [7] *De Arch* V, 10,3;
- [8] *Ep. L. II*, lett.17;
- [9] *Ep. L. V*, lett.6;
- [10] M. Sternini, La fenice di sabbia. Storia e tecnologia del vetro antico, Bari 1995.
- [11] *Ep. L.II*, lettera 17;
- [12] Paris. R. (a c. di), "Via Appia, la villa dei Quintili", ed. Electa (per la S.A.R.), Milano 2000;
- La Regina, A.(a c. di), "*Quintiliorum praedium*" voce del *Lexicon Topographicum Suburbium Urbis Romae IV*, Roma 2007;
- Frontoni R., Galli G., "Calce e calcara nella villa dei Quintili: la calcara", in *Arkos*, Scienza e Restauro, n.25, Ottobre/Dicembre, 66-73, Firenze 2010 (Atti del I Convegno sulla calce antica, Firenze 4-5 dicembre 2008);
- Paris R., Frontoni R., Galli G. (a c. di), Guida pieghevole "La villa dei Quintili", Milano 2010, ediz. Electa;
- Frontoni R., Galli G., "Villa dei Quintili. Pavimenti musivi e in *opus sectile* dell'area centrale" XVI Colloquio AISCOM (Palermo, 17-19 marzo 2010), Tivoli 2011;
- Barca D., Belfiore C.M., Galli G., La Russa M.F., Lugari A., Malagodi M., Pezzino A. 2011. "Glass mosaic tesserae from the Roman "Villa dei Quintili" (Rome, Italy): chemical characterization by LA-ICP-MS and SEM-EDS". *GMPCA - Archéométrie* 2011 Liège, Belgique, 11 -15 aprile 2011, p. 254;

OTTICA E FOTONICA PER RACCOLTA E
IMMAGAZZINAMENTO DELLA LUCE DEL SOLE
Brescia, 28/10/2016

- Frontoni R., Galli G., Paris R., Rotondi A., Roma 1985-2011. Tutela e valorizzazione della villa dei Quintili, in Forma Urbis. Itinerari nascosti di Roma antica . Rivista anno XVII, n.2, E.S.S. s.r.l., febbraio 2012;
- Galli G., Frontoni R., Repertorio dei pavimenti in *opus sectile* dalla Villa dei Quintili, in Atti del XX Convegno AISCOR, Roma marzo 2014, pp. 149-160;
- Frontoni R., Galli G., Lalli C., Paris R., Dalla villa al casale: attività produttive nella villa dei Quintili, in c.s Atti del Convegno “Archeologia della produzione a Roma: secoli V-XV”, Università Roma Tre, Università di Tor Vergata, Ecole Française de Rome, 27-29 marzo 2014;
- [13] D. Stiaffini, Il vetro nel medioevo. Tecniche, strutture manufatti, Roma 1999;
- [14] C.F.Giuliani, L’edilizia nell’antichità, Roma, 1990.