

Seminario Internazionale  
*International Seminar*

Teoria e pratica del costruire:  
saperi, strumenti, modelli

Esperienze didattiche e di ricerca a confronto

*Theory and practice of construction:  
knowledge, means, models*

*Didactic and research experiences*

Ravenna 27-29 ottobre 2005

Volume 4

DAPT - DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA  
E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE  
Università di Bologna



FONDAZIONE FLAMINIA  
RAVENNA



Edizioni  Moderna

# Indice Contents

## **RELAZIONE INTRODUTTIVA / INAUGURAL LECTURE**

*Gulli, R.* Teoria e pratica del costruire. Saperi, strumenti, modelli 3

## **RELAZIONE DI SESSIONE / SESSION LECTURES**

*Bertagnin, M.* Nuovi percorsi per la didattica del costruire tra *métis* e *téchne* 17

*Poretti, S.* Storia delle costruzioni e storia dell'architettura 25

*Ramazzotti, L.* Storia, tecnica, progetto. Principi e regole per gli interventi sul costruito storico 31

*Dell'Acqua, A.C.* Modi di costruire: tradizioni costruttive ed innovazione tecnica 39

## **RELAZIONE AD INVITO / INVITED LECTURES**

*Poté, P.* "Cultures constructives", layout of the model and figures of memory 47

*Becchi, A.* 88317.63520 Tarli della storia, piatti di lenticchie e vecchie zie 57

*Mainini, G.* Costruire nel costruito. Dal contrasto alla continuità e ...ritorno 63

*Rispoli, F. and E.R. Rispoli* Potenza della tecnica ed espressione del tempo della crisi 69

## **COMUNICAZIONI / COMMUNICATIONS**

### **Sessione I / Session I**

#### **Didattica e ricerca applicata. Strumenti di codificazione e trasmissione del sapere sulla costruzione**

#### ***Didactics and applied research. Instruments for the codification and transmission of knowledge on construction***

*Ausiello, G.* Le antiche radici del nuovo. Una metodologia didattica fondata sulla continuità storica 81

*Báez Aglio, M. I.; J.L. Baldonado Rodríguez; A. Rodríguez Muñoz; M.J. García Molina and F.D.Sanz Arauz*

Scientific-documentary study of the marbled stucco from the Palacio del Congreso de Los Diputados (Madrid): a multi-disciplinary research model and its applications to teaching	89
<i>Balbo, R.</i> La casa sull'albero. Il primo progetto al primo anno del Corso di Laurea in Architettura	99
<i>Bellora, M. and V. Caetano da Silveira</i> Insegnare Progettazione Architettonica. Percorso di ricerca sulla didattica dell'architettura a partire da due tesi di dottorato	103
<i>Benghi, C.</i> La gestione della conoscenza del "sapere architettonico": roadmap per il modello comunitario	111
<i>Bianco, A.; A. Bovelacci and M. Candela,</i> L'ausilio delle indagini diagnostiche strumentali per l'analisi del degrado degli organi a canne: il caso di alcune chiese della provincia di Siracusa	115
<i>Bragadin, M.A.</i> Teoria e pratica: i modelli reticolari come proposta di nuovi strumenti di trasmissione del sapere sulla costruzione	121
<i>Bustamante, R.</i> Recovery of traditional mortars in the laboratory of materials at the school of architecture of Madrid	131
<i>Cacciavillani, C.A.</i> L'insegnamento della storia delle tecniche architettoniche: l'architettura religiosa medioevale della città dell'Aquila	135
<i>Conti, C.</i> Cultura tecnica, informazione tecnica e produzione edilizia nel progetto di architettura	145
<i>D'Amato, C. and G. Fallacara</i> Un percorso didattico conservatore. Resoconto dell'esperienza didattica nel laboratorio 1/a di progettazione architettonica nella Facoltà di Architettura del Politecnico di Bari nell'anno accademico 2004-2005	155
<i>De Filippi, F.</i> Cooperare per saper fare. La ricerca e la formazione come contributo dell'università alle politiche per lo sviluppo	167
<i>Deperini, D.</i> L'origami come strumento per la didattica dell'architettura	175
<i>Ferschin, P. and M. Simunic Bursic</i> Constructive innovation in the Early Renaissance and teaching construction methods today	183
<i>Fiamma, P.</i> Costruire l'architettura: tecnologie innovative per la trasmissione delle conoscenze	193
<i>Fontana, L.</i> Ricerche sperimentali sul costruire in terra cruda	201
<i>Franchini, F.</i> La forma costruita: regola ed esperienza in architettura	213
<i>Franco, G.</i> Parole e forme dell'unione in architettura	219
<i>Ghini, A.</i> Il legno e la sua tecnologia in un'iniziativa didattica sperimentale. Per una definizione del ruolo della tecnica nel progetto di architettura	225
<i>Ginelli, E.</i> La pratica del progetto: un contributo per la sperimentazione didattica	233
<i>Graciani García, A.; M.A. Tabales Rodríguez and J.M. Calama Rodríguez</i> Corso di storia della costruzione nella scuola universitaria di architettura tecnica di Siviglia. Docenza e ricerca sulla costruzione antica	243
<i>Jossa, P.</i> L'insegnamento fra Teoria e Pratica della tecnica delle costruzioni ad Architettura	253
<i>Mantovani, S.</i> Il sapere tecnico: un vincolo-guida nel complesso scenario dell'esperienza progettuale	261
<i>Marrone, P. and G. Morabito</i> Mappe e modelli per la rappresentazione e l'applicazione pratica della conoscenza	

za tecnologica	269
<i>Nava, C. and A. Paolella</i> Per una nuova “regola d’arte” negli interventi a basso impatto ambientale	281
<i>Pani, L. and Z. Odoni</i> Dalla sperimentazione alla teoria: costruzione della curva sforzi deformazioni per calcestruzzi rinforzati con fibre di acciaio	295
<i>Papayianni, I. and V. Pacht</i> The evolution of the binding agents’ technology	305
<i>Rabasa Díaz, E.</i> Laboratori di stereotomia: il centro de los oficios di León e la Escuela de Arquitectura di Madrid	317
<i>Rossi, P.</i> Una didattica incentrata sulla sostenibilità	327
<i>Tatano, V.</i> Un’esperienza di didattica e ricerca nel campo delle discipline tecniche: Artec	333
<i>Triscioglio, M.</i> Letture compositive delle architetture come propedeutica all’insegnamento della progettazione architettonica	339
<i>Vecchiattini, R.</i> Sapere empirico e sapere scientifico nella produzione storica dei leganti	351
<i>Vecchio Ruggeri, S.</i> Il cantiere scuola per il recupero della “casa greca”: un progetto di didattica sperimentale	361
<i>Vernizzi, C.</i> Codici del disegno di progetto. Considerazioni sull’innovazione dei modi di rappresentazione determinata dalle mutate necessità operative	371
<i>Wendland, D.</i> Vaults built without formwork: comparison of the description of traditional technique in building manuals with the results of practical observations and experimental studies	381

## **Sessione II / Session II**

### **Storia e scienza del costruire. Nuove frontiere storiografiche**

#### ***History and science of construction. New historiographic frontiers***

<i>Anaya Díaz, J.</i> The gran vía in Madrid. Access to a new technical conception in Spanish architecture during the first three decades of XX century. Origins of concrete in buildings in height	395
<i>Antuña Bernardo, J.</i> Reinforced brick vault. The development of a construction system	407
<i>Azpilicueta Astarloa, E.</i> La costruzione nell’architettura spagnola nel periodo del dopoguerra 1939-1962	419
<i>Barozzi, A. and L. Guardigli</i> Ildebrando Tabarroni ingegnere: architettura e costruzione tra le due guerre	429
<i>Bernabeu Larena, A.</i> Universal exhibitions: a unique frame to analyse the interaction between engineers and architects	443
<i>Bernardi, P.; E. Coïsson and I. Iori</i> Un’indagine sul ruolo della resistenza per “forma” nelle strutture ad arco	453
<i>Biondelli, D. and R. Bugini</i> Note sui sistemi decorativi fra tradizione costruttiva ottocentesca ed introduzione del calcestruzzo armato nell’architettura milanese	463
<i>Block, P. and J. Ochsendorf</i> Interactive thrust line analysis for masonry structures	473
<i>Buccaro, A.</i> La “nuova” ingegneria nel mezzogiorno prima e dopo l’unità. La scuola di applicazione di Napoli	

e la sua eredità	485
<i>Calderini, C. and S. Podestà</i> Gli strumenti della diagnosi strutturale: meccanica e tecnica nello sviluppo dei monitoraggi storici	493
<i>Calvo López, J.</i> Jacopo Torni. L'Indaco vecchio and the emergence of Spanish classical stereotomy	505
<i>Calvo López, J. and E. de Nichilo</i> Stereotomia, modelli e declinazioni locali dell'arte del costruire in pietra da taglio tra Spagna e Regno di Napoli nel XV secolo. Tre scale a chiocciola a confronto: Castel Nuovo a Napoli, la Lotja di Valencia e la Capilla de los Vélez a Murcia	517
<i>Cassinello, M.J.</i> Gothic skeleton structural types in Spain / seismic rationale	527
<i>Cerutti Fusco, A.</i> Nicola Cavalieri di San Bertolo (1788 – 1867) e la cultura tecnico scientifica della scuola di ingegneria in Roma	537
<i>Chiorino, C.</i> “Cantiere italia '61”. Tecniche costruttive, cantieri e cultura d'impresa in occasione della esposizione per il centenario dell'unità d'Italia a Torino	551
<i>Cigni, F.</i> La comune matrice geometrica quale principio ordinatore	563
<i>Cipriani, B. and J. Ochsendorf</i> Construction techniques in medieval Cairo: the domes of Mamluk mausolea	575
<i>Coccia, S.; M. Como; M.L. Conforto and U. Ianniruberto</i> On the reasons of the coliseum structural damage-ment	589
<i>Corradi, M.</i> Architettura e costruzione in terra cruda: il sapere nascosto	601
<i>D'Amelio M.G.</i> “Tiene tantos errores, como piedras: pero con todo esso es hermosa”. L'infrazione e la regola nell'architettura del colonnato di San Pietro a Roma	611
<i>D'Orazio, M.</i> Il ruolo della normativa sismica nello sviluppo della costruzione metallica in Italia. Gli anni '30	623
<i>Dameri, A.</i> Il cantiere di casa Priotti a Torino. Carlo Ceppi (1900-1908)	631
<i>De Nicolò, B. and D. Meloni</i> La linea curva come espressione resistente e gli elementi finiti	641
<i>Decri, A.</i> Conti di fabbrica e capitolati per fare storia del costruire; l'esempio dei pavimenti genovesi tra XVII e XVIII secolo	651
<i>Delizia, I.</i> Il rapporto fra teoria e prassi nel <i>Traite theorique et pratique de l'art de batir</i> di Jean Baptiste Rondelet	659
<i>Divenuto, F.</i> Il cantiere della Reggia casertana	669
<i>Durán Fuentes, M.</i> An endeavour to identify roman bridges built in former <i>Hispania</i>	681
<i>Fiandaca, O.</i> L'involucro di Palazzo Zanca a Messina. Un registro narrativo di tecniche costruttive fra documenti d'archivio e riscontri analitici	693
<i>Filemio, V.</i> Storia della costruzione della Chiesa di San Giacomo Maggiore in Gavi (AL)	707
<i>Forni, M.</i> La didattica del costruire nell'ateneo pavese nella prima metà dell'Ottocento. L'insegnamento di G. Marchesi e G.A. Borgnis	717
<i>Girón Sierra, J.</i> Construction as a comparative science: the “parallel” as analytical instrument in the XIXth	

century historians of construction	729
<i>Gutiérrez Mosteiro, J.G.</i> Forma e processo costruttivo nelle volte a foglio di Luis Moya	737
<i>Huerta, S.</i> The use of simple models in the teaching of the essentials of masonry arch behaviour	747
<i>Iori, T.</i> L'ingegneria italiana del dopoguerra: appunti per una storia	763
<i>López Manzanares, G.</i> The relation between theory and practice in the construction of Sainte-Geneviève's church in Paris: Patte's contribution	773
<i>Marconi, N.</i> «Fra questa contrarietà d'opinioni non si prese alcuna risoluzione». Convergenze e discrasie tra teoria e pratica edilizia nella Roma barocca	785
<i>Mislin, M.</i> Elements of construction in american factory design between 1895 and 1914. Building materials and typical ways of construction with special consideration of reinforced-concrete	795
<i>Monelli, N.</i> Il progetto edile nell'umanesimo come innesto ad incastro di esigenze tecniche ed umane. Esame condotto avendo come base la Basilica di Loreto	809
<i>Mornati, S.</i> La facciata leggera del complesso direzionale Eni a Roma tra produzione industriale e tecnica artigianale	819
<i>Munafò, P.; E. Mugianesi and G. Antenucci</i> Introduzione dei solai in c.a. e in laterocemento nella provincia di Macerata tra il 1928 e il 1944	829
<i>Porrino, M.</i> Forma tecnica e forma architettonica nelle prime costruzioni in ferro, 1790-1855	839
<i>Radelet-de Grave, P.</i> Cemento precompresso e sperimentazione, il ruolo di Gustave Magnel	849
<i>Schlimme, H.</i> The "online glossary of historical italian building terms": its context and some examples of entries	859
<i>Seraphin Fürth, M.</i> From innovation to state of the art – establishing modern timber engineering	863
<i>Souto Maior, P. M. and S. R. de Sampaio Ribeiro</i> Central station's platform structural and pathology analysis. Recife - Brazil (1888)	871
<i>Triff, K.</i> Teoria e pratica del costruire a Roma nel primo rinascimento: il caso di monte Giordano	883
<i>Valeriani, S.</i> La trasmissione delle conoscenze tecnologiche nell'Europa del XVII e XVIII sec: il caso delle strutture di copertura	895
<i>Van de Vijver, D.</i> Demanet's 1848/9 general building specifications for the belgian ministry of war	905
<i>Vittorini, R.</i> Gli architetti e il marmo: esperienze romane tra gli anni venti e quaranta del novecento	915
<i>Zordan, M.</i> Architettura e acciaio in Italia negli anni sessanta	925

### **Sessione III / Session III**

#### **Storia, tecnica, progetto. Principi e regole per gli interventi sul costruito storico**

#### ***History, techniques, design. Principles and rules for the restoration of the historical heritage***

<i>Alonso, M. A. and J. Ortega</i> The west spire in the Alcázar of Segovia: construction and perception	939
<i>Bartolomucci, C.</i> L'architettura storica in terra cruda: problemi di conservazione e questioni di metodo	947

<i>Bertagnin, M. and G. Bollini</i> Nuovi approcci alla conservazione dell'architettura tradizionale in terra cruda in Abruzzo: le esperienze dei cantieri di primo intervento a Casalincontrada (Chieti, Italia)	955
<i>Boato, A.; S. Martini and G. Pesce</i> La costruzione dei terrazzamenti a secco nel Parco Nazionale delle Cinque Terre (SP): codificazione di un sapere empirico	963
<i>Boato, A.</i> Dalle analisi quantitative alla ricostruzione delle regole teoriche e pratiche del costruire storico	975
<i>Bucci, A.</i> Il ruolo dell'architettura regionale nella costruzione della città europea	981
<i>Cacciaguerra, G. and M. P. Gatti</i> Il bovindo, nelle architetture del passato e in quelle attuali	989
<i>Cacciola, S.</i> Un programma di ricerca per un progettare consapevole	999
<i>Cama, G.</i> Analisi storica e classificazione tipologica come premessa per il recupero di un manufatto rurale tipico del messinese: la noria	1009
<i>Candela, M.; A. Bianco; A. Bottai; D. Campolo and L. Messina</i> Il ruolo delle PhD per la diagnosi del dissesto finalizzata ad un progetto di restauro ad Ortigia	1019
<i>Caponetto, R.; U. Rodonò and S. Secondo</i> Sostenibilità e recupero. Ipotesi d'intervento sugli edifici degli anni '60 e '70 a Catania	1029
<i>Chiarenza, S.</i> Conoscenza e rappresentazione del costruito archeologico. Un'esperienza di ricerca: il tempio con portico a Cuma	1045
<i>Corsini, M.G.</i> Luogo e linguaggio per il progetto contemporaneo	1053
<i>Cucinotta, G.</i> Le tecniche di intervento sugli elementi decorativi in pietra artificiale: tra interpretazione teorica e istanze dettate dalla prassi operativa di cantiere	1063
<i>D'Agostino, S.</i> Il contributo dell'ingegneria per i beni culturali alla conservazione del patrimonio costruito	1073
<i>Degli Esposti, V.</i> Edilizia storica, interventi attuali: un rapporto critico	1079
<i>Di Lernia, L.</i> Interventi edilizi a Napoli nel Settecento. Raffronto tra tradizione e innovazione negli orientamenti teorici e nella prassi professionale	1089
<i>Falzett, A.</i> Artifici della costruzione: le vele della chiesa Dio Padre Misericordioso di Richard Meier	1103
<i>Galli, C.</i> La complessità degli elaborati grafici per il restauro	1115
<i>Giglio, F. and C. Nicosia</i> Appropriatezza delle scelte materiche e costruttive negli interventi di recupero. proposta di un metodo di verifica	1123
<i>Giustozzi, S. and G. Mochi</i> Architettura in terra cruda nel maceratese: "cantiere scuola-restauro"	1133
<i>González Moreno Navarro J. and A. Casals Balagué</i> La comprensione della costruzione storica come condizione <i>sine qua non</i> per progettare sul costruito	1143
<i>Gozzi, E.</i> Istruzioni manualistiche e adattamenti dell'autocostruzione negli organismi edilizi specialistici dell'edilizia storica. Il sistema degli orizzontamenti del palazzo comunale di Modena	1153
<i>Ippoliti, E.; A. Mangionami and M.T. Cusanno</i> L'architettura dell'acqua nel paesaggio urbano e rurale di Ascoli Piceno	1165
<i>Lagomarsino, S. and S. Resemini</i> L'analisi limite delle costruzioni murarie: uno strumento per il progetto di	

interventi in zona sismica	1175
<i>Lucat, M.</i> Architettura e tecnologia nel XX secolo: un database europeo per una lettura critica comparata del patrimonio costruito attraverso i manuali tecnici	1189
<i>Melis, B.</i> Progettazione architettonica per lo sviluppo sostenibile	1193
<i>Mingozzi, A.</i> Recupero e conservazione preventiva delle vetrate storiche: il caso di studio della chiesa superiore della basilica di San Francesco ad Assisi	1205
<i>Montagna, R. and E. Pandolfi</i> Il comportamento sismico degli edifici storici di culto	1221
<i>Musso, S. F.</i> Dal censimento dei manufatti alla storia della loro costruzione: incursioni nel mondo della scienza, della tecnica e del cantiere	1233
<i>Nicosia, C.</i> Sicurezza sismica e moderne tecnologie per gli interventi di recupero. Un caso studio: il patrimonio architettonico calabrese	1243
<i>Papa, L. M.</i> Metodologia e modelli per la conoscenza e valorizzazione dei siti archeologici	1253
<i>Pesenti, S.</i> Il cantiere di restauro. Istanze concettuali della disciplina e strumenti operativi nell'evoluzione storica e nelle prospettive per il futuro	1263
<i>Pittaluga, M.</i> Media city: ai confini della realtà	1269
<i>Quagliarini, E.</i> Il recupero delle strutture lignee nei teatri all'italiana: conservazione o sicurezza?	1281
<i>Reale, G.</i> Riflessioni sul consolidamento strutturale	1291
<i>Vitrano, R. M.</i> Andar per principi...tra "rigenerazione" e innovazione. I confini storici per l'intervento sul costruito	1299

#### **Sessione IV / Session IV**

#### **Modi di costruire. Tradizioni costruttive ed innovazione tecnica**

#### ***Building manners. Building traditions and technological innovation***

<i>Amendolagine, F.; C. Mungiguerra; V. Foramitti and A. Biasi</i> Polvere di vetro pesto: tradizione costruttiva e innovazione tecnica nei trattati dal XVIII al XX secolo nell'ambito della cultura della calce intonacchini, marmorini e stucchi	1311
<i>Barbera, S. and G. Lombardo</i> Materiali, caratteri e principi nell'architettura "moderna" nell'area etnea	1319
<i>Bartoli, B.</i> L'architettura del nuraghe e del trullo nella sintesi tipologica della sostenibilità ambientale	1329
<i>Basti, A.</i> La cultura materiale come innovazione costruttiva	1337
<i>Bellicoso, A.</i> Le volte in pietra nell'edilizia storica di base abruzzese: l'apparecchio in foglio	1347
<i>Bertagnin, M. and A. Frangipane</i> From the river to the house: wall patterns in traditional buildings of the Friuli plain (NE Italy)	1357
<i>Biolcati Rinaldi, M.</i> Materiali e tecniche costruttive nell'architettura tradizionale greca	1367
<i>Bondanelli, M.; F. Trovò and G. Mirabella Roberti</i> Lettura dei modi costruttivi per l'interpretazione dei disegni dell'edilizia storica veneziana	1375



<i>Cacciavillani, C. A.; R. Crescente; N. M. Margiotta; C. M. F. Mazzanti; S. Mele and A. Nardella</i> La tecnica costruttiva nell'edilizia storica minore delle comunità montane in Abruzzo	1385
<i>Caponetto, R.</i> La coscienza di rischio sismico nella tradizione costruttiva catanese	1395
<i>Carafa, R. and C. Giannattasio</i> L'Episcopio di Falciano in Caserta: lettura stratigrafica delle strutture (XV-XX sec.)	1409
<i>Castagnoli, A.</i> Il rendimento dei tessuti urbani nel rapporto fra tipologia e tecnologia nell'edilizia attuale	1421
<i>Como, M. T.</i> Aspetti costruttivi e statici delle tholoi micenee	1433
<i>Cottone, A. and S. Bertorotta</i> Carlo Giachery. Architettura e tecnica nella Palermo dell'800	1445
<i>De Paola, P.</i> Gestione, ripristino e valorizzazione dei materiali e delle tecniche costruttive locali: analisi delle tecniche costruttive in Zungoli (Avellino, Italia)	1459
<i>De Tommasi, G. and F. Fatiguso</i> La pietra artificiale nell'edilizia all'inizio del XX secolo: processi di degrado di un materiale "innovativo"	1471
<i>De Villanueva, L.</i> Historical evolution of gypsum plaster in the building	1481
<i>Desideri, U.; P. Verducci; L. Arcioni; L. Cesaretti; D. Leonardi and C. Casini</i> Soluzioni progettuali per l'architettura sostenibile. Il contributo energetico delle serre all'interno di unità abitative ad uso residenziale: analisi sperimentale e soluzioni costruttive	1489
<i>Di Giovanni, G.</i> Tecniche costruttive del XVIII secolo a L'Aquila: i solai in legno	1497
<i>Di Natale, E. and F. Lanzarone</i> Il complesso percorso costruttivo di chi dimentica la memoria storica	1511
<i>Ferrante, A.</i> Architettura (e fisica) tecnica nella strutturazione formale degli involucri edilizi	1517
<i>Ferrero, M.</i> Tradizione costruttiva e innovazione tecnica nelle costruzioni in blocchi di calcestruzzo	1529
<i>Fianchino, C.; G. Sciuto and R. Spina</i> Tipi edilizi a Catania. Evoluzione tipologica e tecniche costruttive	1539
<i>Filemio, V.</i> Compendio storico sulla costruzione in terra cruda	1551
<i>Graciani García, A. and M. Á. Tabales Rodríguez</i> On the construction technique of the Almohad city wall of Seville (Spain)	1559
<i>Lepore, M. M.</i> Tecnologie solari in architettura e urbanistica nella storia	1569
<i>Lombardo, G.</i> Innovazione tecnologica nelle opere di Peter Rice	1579
<i>Masotti, C.</i> Light-tech: una rivoluzione tecnologica silenziosa	1587
<i>Mele, C.</i> Tradizioni costruttive ed innovazione tecnica: nuovi modelli e nuovi percorsi di conoscenza	1601
<i>Migliore, M.R.; R. Baraldi; A. Izzo; N. Mauro and Luigi Mollo</i> Le coperture lignee della Real Casa dell'Annunziata in Aversa: tra tradizione e innovazione	1611
<i>Munafò, P. and F. Davì</i> Le capriate lignee storiche per i tetti a bassa pendenza in Italia	1623
<i>Nardella, A. and C. M. F. Mazzanti</i> Santuario Mare de Deu de Montserrat a Montferri: la tecnica costruttiva nell'architettura modernista catalana	1631
<i>Nelva, R.</i> The links between the library, projects and accomplishments of an engineer of the first half of the nineteenth century who worked in the subalpine area: C.B. Mosca between tradition and innovation	1641
<i>Palacios Gonzalo, J. C.</i> The gothic oval ribbed vaults	1653

<i>Pellitteri, G. and S. Concialdi</i> Innovazioni e mutazioni nel progetto dell'involucro architettonico	1665
<i>Petrella, P.</i> L'ammaloramento ed il deterioramento precoce dei frontini: cause e rimedi. Illustrazione di una metodologia di ripristino e recupero collaudata in Campania	1673
<i>Petruccioli, A.</i> Tipo edilizio ed elementi costruttivi a Bukhara e Samarcanda (Asia centrale)	1679
<i>Pietrogrande, E.</i> Impiego innovativo nell'architettura contemporanea di materiali non finalizzati all'edilizia	1689
<i>Sanjust, P.</i> Costruire architettura a Cagliari 1926-1936	1699
<i>Sanna, A.</i> L'edilizia dell'autarchia: il caso Carbonia. Materiali per un manuale del recupero	1709
<i>Secchiari, L.</i> Le nuove pietre nella teoria e pratica del costruire	1721
<i>Tabales Rodríguez, M. Á.</i> La costruzione del patio de las Doncellas del Alcazar di Siviglia. Studio di un processo costruttivo mancato	1729
<i>Tirone, D.</i> Sistema di facciata ventilata in laterizio a pasta molle	1739
<b>LISTA DEGLI AUTORI / LIST OF CONTRIBUTORS</b>	1751
<b>INDICE DEI NOMI / INDEX OF AUTHORS</b>	1757

## TECNOLOGIE SOLARI IN ARCHITETTURA E URBANISTICA NELLA STORIA

**Michele M. Lepore**

DiTAC/Università degli studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara – viale Pinadaro 42, Pescara  
m.lepore@ditac.unich.it

### ABSTRACT

La storia dell'uomo è la storia delle tecniche di trasformazione dell'energia. Ogni era è contraddistinta da alcune particolari tecniche di produzione energetica. Lo sfruttamento dell'energia del sole e l'attenzione alle prestazioni ambientali delle scelte di trasformazione del territorio sono cosa antica.

Progettare gli edifici in rispetto al clima e al sole è rimasto un'usanza praticata fino al XX secolo. Solo nella nostra epoca, la presunta inesauribilità delle fonti energetiche e il basso prezzo dell'energia hanno portato all'abbandono di questa pratica, perché hanno, illusoriamente, reso possibile il soddisfare qualsiasi comfort termico desiderato, indipendentemente dal clima.

Le crisi del petrolio e il cambiamento del clima hanno recentemente riportato una maggiore attenzione per i problemi energetici ed ambientali, e le antiche nozioni dell'edilizia e dell'urbanistica solare, ritenute superate dalla moderna tecnologia, trovano una rinascita nell'odierna "architettura bioclimatica" e nella progettazione "sostenibile".

Insieme alla disponibilità dei materiali da costruzione, il clima locale è uno dei principali fattori che hanno dato origine alle numerose e differenti espressioni architettoniche che troviamo nel mondo. Costruire in rispetto alle condizioni climatiche locali e al sole è una pratica molto antica, una consuetudine da quando l'uomo ha cominciato a costruire delle dimore stabili.

Il lavoro analizza le tradizioni costruttive e soluzioni tipologiche del passato alla luce delle prestazioni ambientali.

### USO DELL'ENERGIA SOLARE NELLA STORIA

Progettare gli edifici in rispetto al clima e al sole è rimasto un'usanza praticata sin dal XX secolo. Solo nella nostra epoca, la presunta inesauribilità delle fonti energetiche e il basso prezzo dell'energia hanno portato all'abbandono di questa pratica, perché hanno reso possibile di soddisfare qualsiasi comfort termico desiderato, indipendentemente dal clima.

L'utilizzo dell'energia solare nelle città ha accompagnato l'uomo di tutti i tempi e di tutte le civiltà. Le città dell'antichità erano delle città solari. Nel cibo e nella legna da ardere, tra le principali risorse energetiche prima dei combustibili fossili, era immagazzinata l'energia solare rinnovabile raccolta con la pratica dell'agricoltura ed il taglio delle foreste. Gli architetti e gli ingegneri delle antiche città avevano anche scoperto di dover orientare gli edifici rispetto al percorso del sole, per utilizzarne il suo calore. Nell'antica Grecia, la città di Olynthus del V secolo avanti Cristo, di 2500 abitanti, fu costruita dal nulla, sulla cima di un pianoro, con le vie le une perpendicolari alle altre, orientate in modo che tutte le case potessero avere la stessa esposizione al sole, verso Sud.



Figura 1. Città greca di Priene

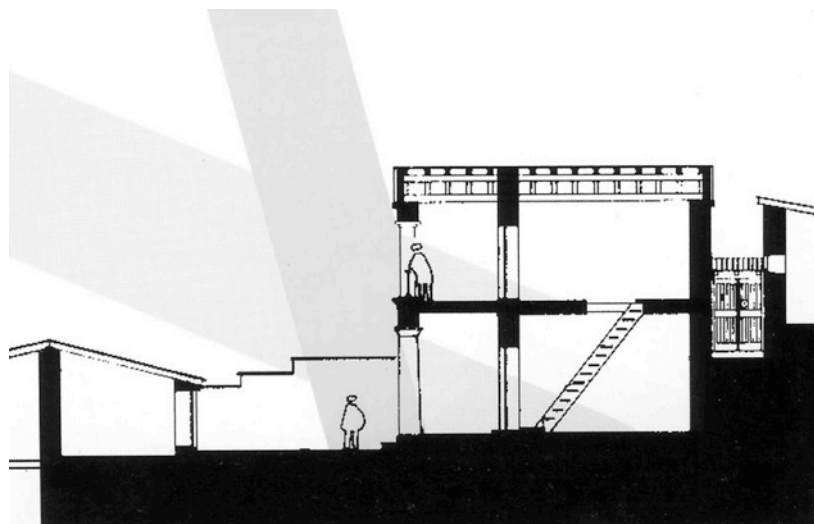


Figura 2. Priene: esposizione dei locali di una abitazione tipica

Parlando di urbanistica e di architettura greca e romana ci riferiamo all'area mediterranea e alle sue condizioni climatiche. Il clima mediterraneo è un clima temperato caratterizzato da estati calde ed inverni miti. Una casa mediterranea deve principalmente offrire ombra e frescura in estate e sole in inverno, condizioni ottenibili con l'esposizione a sud e con la costruzione di un porticato che, in estate, quando la posizione del sole è alta, conferisca ombra e che, in inverno, permetta ai raggi del sole di penetrare in profondità.

Per Vitruvio un sito salubre è caratterizzato da una posizione elevata, dall'assenza di nebbia e di brina, da un'esposizione nè verso l'estremo caldo (Sud) nè verso il freddo (Nord). Egli consiglia un orientamento intermedio onde evitare eccessive escursioni termiche.

Gli insediamenti italici erano tradizionalmente ubicati in siti elevati, su colline e pendii, ritenuti più sicuri e più salubri di quelli in valle. Le valli erano spesso paludose, subivano frequenti inondazioni e offrivano meno difese. I Romani sono stati i primi in Italia ad abbandonare questa tradizione e a costruire le nuove città preferibilmente in pianura, in prevalenza lungo le nuove strade. Un esempio di città in pianura è Firenze, fondata probabilmente nella prima metà del II secolo a.C. nel corso della costruzione della strada tra Aretium e Bononia. Ubicata nella valle dell'Arno, vicino al fiume, ancora oggi il clima fiorentino è spesso afoso e la città è spesso a rischio di inondazioni. Simile è la situazione a Terni che sorge nella valle del Nera, in una pianura, la conca ternana, ancora oggi famigerata a causa della sua afosità.

Nella scelta dei siti di nuove città prevalevano normalmente aspetti militari e logistici che spesso, in seguito, si sono rivelati favorevoli per lo sviluppo e la crescita economica di questi centri. Il criterio della salubrità aveva un'importanza molto minore di quanto si possa pensare leggendo Vitruvio. La salubrità del territorio si poteva ottenere anche artificialmente con l'esecuzione di opere di bonifica. Nel tardo Impero, e dopo le invasioni barbariche, la manutenzione dei canali drenanti subì un grave calo e diverse città romane dovevano essere abbandonate a causa di un progressivo peggioramento delle condizioni climatiche e della diffusione della malaria.

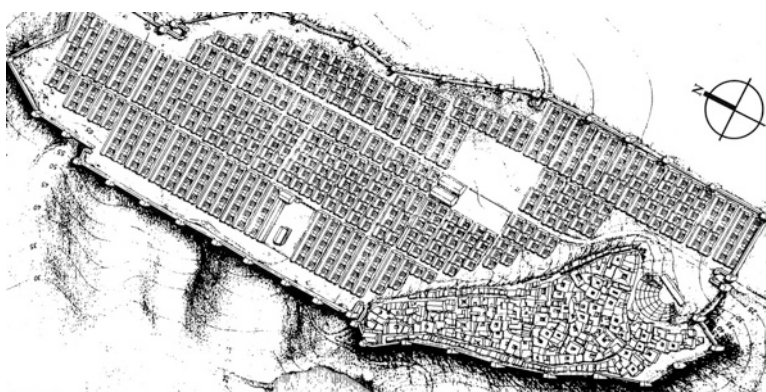


Figura 3. Città di Olinto

La rilevanza del sole per i piani regolatori delle città antiche influisce sull'orientamento delle vie e quindi delle case. Gli antichi urbanisti greci e romani avevano l'abitudine di conferire ai nuovi insediamenti una pianta basata su una griglia ortogonale. La pianta ortogonale permette una facile suddivisione dell'area in lotti rettangolari. La geometria è semplice e quindi non sorprende che questo schema abbia trovato una vasta applicazione. Più sorprendente è in fatto che lo schema ortogonale abbia trovato applicazione non solo in siti pianeggianti ma anche su terreni difficili, collinari, rocciosi e degradanti, con notevoli dislivelli. Ne sono buoni esempi le città di Ardea, Alba Fucens, e molte altre. In Italia, sull'esempio dei greci, lo schema ortogonale fu adottato prima dagli etruschi e successivamente dai romani. La rete viaria ortogonale suddivideva l'area urbana in isolati rettangolari, che in molte città elleniche erano stretti ed oblungi, mentre in quelle romane avevano varie proporzioni (dal quadrato fino al rettangolo oblungo). È facilmente riconoscibile che gli isolati stretti ed oblungi, erano edificati con case a schiera e anche l'individuazione del loro orientamento è facile. Meno facile è l'individuazione dell'orientamento delle case nelle città romane, dove un isolato poteva essere occupato da un'unica casa, oppure essere suddiviso in più edifici.

In molte città ellenistiche (ippodamiche), gli isolati si sviluppano in direzione Est-Ovest e ciò significa che le case a schiera avevano un'esposizione che va da SO a SE. Nella città etrusca di Marzabotto (prima metà del V secolo a.C.) le schiere di case si sviluppano in direzione Nord-Sud, così che ogni edificio riceveva luce da est e da ovest. All'argomento dell'orientamento delle vie urbane, Vitruvio dedica un intero capitolo, ma il suo obiettivo non è quello di procurare alle case una ottima insolazione, bensì l'esclusione dei venti, molesti e dannosi per la salute degli abitanti, dal tessuto urbano tramite il "giusto" orientamento.

Vitruvio descrive poi minuziosamente un metodo geometrico della costruzione di una rosa dei venti dalla quale si ricava l'orientamento corretto delle vie. Si tratta di un ottagono orientato verso i punti cardinali in cui viene iscritta la pianta della città in modo tale che l'orientamento delle vie non corrisponda a nessuna delle direzioni indicate dall'ottagono. La griglia stradale è quindi ruotata di un quarto di quadrante cioè di  $22,5^\circ$  e le vie si sviluppano in asse NNO-SSE, rispettivamente ENE-OSO. Un orientamento, che corrisponde più o meno a quello che risulta dall'ottagono di Vitruvio, lo hanno le vie di Aosta ( $23^\circ$ ), Augusta ( $23^\circ$ ), Minturno ( $23^\circ$ ), Ostia ( $21^\circ$ ), Aquileia ( $19^\circ$ ) ed Emona ( $19^\circ$ ). Una deviazione di circa  $30^\circ$  dall'asse N-S le hanno Genova ( $30^\circ$ ), Imola ( $28^\circ$ ), Livorno ( $32^\circ$ ) e Torino ( $27^\circ$ ). La teoria di Vitruvio si basa con molta probabilità su testi di medici greci e su un testo di Andronico Cirreste, l'architetto che aveva costruito, verso il 100 a.C. ad Atene, una torre dei venti, un tipo di osservatorio meteorologico che permetteva di rilevare la direzione dei venti e quindi anche di osservarne la frequenza.

È vero che le vie dritte di una pianta ortogonale sono facilmente invase dai venti, sicuramente un vantaggio per il desiderato raffrescamento in estate, ma è di certo uno svantaggio in inverno quando i venti sono freddi. L'esclusione dei venti molesti è indubbiamente un aspetto importante nell'urbanistica, ma lo è altrettanto anche una sana ventilazione, fattore menzionato da Aristotele. Vitruvio, nonostante l'importanza che egli dà alla questione dei venti, sostiene però che il sito di una città non deve essere orientato né verso Sud, né verso Nord, e consiglia un orientamento intermedio onde evitare eccessive variazioni di temperatura. Vitruvio raccomanda espressamente anche lo studio dell'astronomia necessario agli architetti per poter affrontare con perizia il problema dell'insolazione come fonte termica, cioè l'orientamento degli edifici e dei locali in rapporto alle esigenze stagionali. È importante ricordare che, per l'orientamento delle vie di una città, non contano solo il sole e i venti, ma molti altri aspetti: l'orografia e l'andamento del terreno, il percorso delle strade preesistenti e, nel caso delle città romane, anche la centuriazione delle aree agricole circostanti. Oggi, i fattori che hanno portato ad orientare la griglia stradale in una o nell'altra direzione, sono raramente riconoscibili. Studiando l'orientamento dei reticolati stradali ortogonali si deve dubitare che le città romane siano state progettate con particolare riguardo al sole. L'orientamento è così vario da ritenere che l'insolazione non sia stato un criterio prioritario nella pianificazione. L'insolazione dei singoli edifici di una città dipende anche dalla larghezza delle vie. Le vie nelle città romane avevano una larghezza dai 15 ai 20 piedi circa (5 a 6 metri) e solo le vie principali erano più larghe. In condizioni di edificazione non superiore ai due piani, questa larghezza garantiva una buona illuminazione dei piani superiori anche in inverno. Gli edifici più alti, come ad esempio quelli costruiti ad Ostia in epoca imperiale, arrivavano fino a cinque piani, confinavano principalmente con piazze o con vie più larghe, ma proprio alcuni di questi edifici dimostrano che la loro insolazione non era stata contemplata dal progettista. Per esempio, i due blocchi residenziali nel cosiddetto quartiere delle case con giardino sono orientati in modo che la metà degli alloggi sia rivolta direttamente verso sud, e l'altra direttamente verso nord.

Le città dell'antichità erano originariamente progettate per edifici residenziali ad uno o a due piani i cui locali abitativi erano orientati su un cortile interno dal quale ricevevano luce. La quantità di sole di cui le abitazioni godevano dipendeva, in primo luogo, dalla dimensione di questi cortili. Verso la

strada si aprivano solo gli ingressi, laboratori e le botteghe; al massimo il piano superiore possedeva qualche finestra verso la strada.

Una città racchiusa tra le mura, quando occorrono più abitazioni, tende a crescere in verticale e di conseguenza l'insolazione e l'illuminazione dei singoli alloggi peggiorano. L'evoluzione urbanistica, documentata dagli scavi, dimostra anche la suddivisione dei lotti in parcelle sempre più piccole e l'edificazione dei cortili. L'insolazione e l'illuminazione delle singole abitazioni sono pertanto diventate sempre più precarie. In una metropoli, come quella di Roma, con vie piuttosto strette ed edifici che raggiungevano un'altezza fino a sei o sette piani, il requisito di una sufficiente insolazione non era certamente soddisfatto.

Sull'orientamento "giusto" delle vie urbane esistevano nell'antichità romana anche altre teorie, come, per esempio, quella che vuole che l'orientamento delle vie urbane debba seguire quello della centuriazione del territorio rurale. I resti delle centuriazioni romane conservati fino ad oggi fanno apparire questa teoria piuttosto accademica, solo pochi reticolati urbani hanno lo stesso orientamento delle centuriazioni. I fatti dimostrano invece che le condizioni orografiche e geomorfologiche erano spesso più decisive. Molte delle nuove città fondate dai romani sono sorte in concomitanza con le nuove strade ed il tracciato di queste ha condizionato l'orientamento sia della centuriazione, sia della rete viaria cittadina. Questo è il caso dell'Emilia-Romagna dove l'orientamento della centuriazione è stato determinato dalla Via Emilia che si estende a piè delle colline in direzione SE-NO. Questo orientamento della strada ha determinato anche quello della griglia viaria degli insediamenti sorti lungo la Via come Forum Corneli (Imola), Forum Livi (Forlì), Forum Popoli (Forlimpopoli) e Faventia (Faenza). L'orientamento verso il sole viene affrontato anche dagli scrittori cosiddetti agricoli. Nei loro scritti fanno riferimento non solo ai quattro punti cardinali, ma anche ai punti dell'orizzonte dove sorge e dove tramonta il sole. Si distinguevano a questo proposito tre punti rilevanti in cui sorge il sole: l'oriens brumalis, il punto al solstizio d'inverno, l'oriens aequinoctialis, il punto agli equinozi e l'oriens aestivalis, il punto al solstizio d'estate. Questi punti variano secondo la latitudine e devono essere pertanto determinati per ogni luogo. Gaetano Vinaccia, che ha studiato il problema dell'orientamento nell'urbanistica dell'antica Roma, scrive che, nell'urbanistica romana, i criteri pratici prevalevano e che, nei piani ortogonali, le vie avevano un orientamento che ostacolava i venti molesti e garantiva agli edifici un'insolazione massima in inverno. Lo stesso autore ricorda che, in Italia, per ragioni eliotermitiche, l'orientamento del reticolo stradale ortogonale e conseguentemente anche quello degli edifici, deve assumere la direzione NE-SO o NO-SE, la quale concorda anche con le necessità eoliche italiane. Egli afferma che "le piante di moltissime città italiane hanno il reticolo stradale deviato di circa 30°" e che "questa deviazione porta ad un'equa distribuzione dell'insolazione in modo che anche le facciate rivolte verso settentrione, godono un po' di sole nella stagione invernale". Oggi si è del parere che, per ottenere i migliori guadagni energetici dal sole, l'orientamento più opportuno sia quello in direzione sud. Una deviazione di 30° verso Est o Ovest è però considerata ancora buona. L'orientamento degli edifici verso SO, senza opportuni dispositivi d'ombreggiatura davanti alle finestre, può comportare surriscaldamenti estivi, perché le ore più calde in estate sono proprio quelle dopo mezzogiorno. L'orientamento verso SSO è però il più vantaggioso quando si vogliono ottenere alte temperature pomeridiane, e questo era l'obiettivo degli architetti romani che progettavano le grandi terme.

## ARCHITETTURA SOLARE

Nei tempi più remoti, gli edifici dell'Italia centrale e settentrionale erano prevalentemente costruiti in legno, così come anche i templi. Un tempio etrusco ricostruito, che bene dimostra la tecnica edilizia di quei tempi, si può ammirarlo nel Museo di Villa Giulia a Roma. Ben presto però si cominciò ad edificare in pietra e solo i solai e i tetti continuarono ad essere realizzati in legno. I muri di pietra erano a diretto contatto con il terreno. L'umidità del terreno teneva i muri umidi per circa la metà dell'anno, ma il problema era poco risentito perché gli insediamenti italici erano prevalentemente costruiti in collina, direttamente sulla roccia, dove il suolo era più asciutto. L'umidità è stata invece un problema permanente nelle città fondate dai Romani in pianura e nelle valli e pertanto le case avevano un piano superiore dove si viveva più all'asciutto. Se è vero che i muri umidi hanno il pregio di tenere in estate gli ambienti freschi, è altrettanto vero che, in inverno, rendono una casa fredda e insalubre. La classica domus romana, la casa ad atrio, è nata nel clima mite della Campania e si è diffusa in tutto il territorio dell'impero romano, anche in regioni dove le condizioni climatiche sono molto diverse da quelle italiane come in Francia e in Germania e per le quali non era una forma molto adatta. I muri costruiti in pietra andavano bene in aree abbastanza asciutte come quelle sulle colline italiane, ma su terreni umidi diventavano una fonte di malesseri e di malattie. È significativo il fatto che, quando nel III e IV secolo d. C. gli Alemanni occuparono i territori del Reno superiore, non vollero utilizzare le ville rustiche romane,

abbondanti in quella zona, ma preferirono costruirsi nuove case in legno che ovviamente erano molto più adatte al clima e quindi anche più sane. Nei paesi mediterranei, favoriti da un clima mite, la vita di casa si svolgeva in massima parte all'aperto, nel cortile. Le case italiche potevano pertanto rimanere relativamente buie e rappresentavano piuttosto un riparo contro le intemperie. Il trullo della Puglia e il dammuso della Pantelleria sono tipologie sopravvissute e i loro interni possono dare un'idea delle condizioni abitative di quell'epoca. Possiamo studiare l'evoluzione della casa romana, per esempio a Pompei. Una delle case più antiche di questa città è la cosiddetta "Casa del Chirurgo" la cui origine risale alla fine del IV o all'inizio del III secolo a.C. Questa casa aveva in origine un atrio coperto (atrium testudinatum), cioè non illuminato dall'alto. La luce penetrava nella casa solo attraverso la porta d'ingresso e dal giardino in fondo. Nel II sec. a.C., nel corso di una ristrutturazione, l'atrio coperto è stato trasformato in un atrio toscano (atrium tuscanicum), cioè in un atrio con un lucernaio (compluvium) e una vasca (impluvium) che raccoglieva l'acqua piovana, ma anche dopo questa trasformazione la casa rimaneva abbastanza buia. Le finestre delle case erano normalmente minuscole. Le lastre di vetro, se erano disponibili, avevano piccole dimensioni (raramente più grandi di 20 x 30 cm) ed erano abbastanza care. Pur sapendo produrre preziosi oggetti di vetro, la tecnologia del vetro non era ancora così sviluppata per poter fornire un'elevata quantità di vetri piani di grandi dimensioni ad un prezzo conveniente. Grandi lastre di vetro compaiono solo nella metà del I secolo a.C. Le piccole finestre al piano terra erano piuttosto feritoie, le più grandi chiuse con ferriate o con sportelli di legno. Aperti questi, in inverno, facevano entrare l'aria fredda. Gli unici ambienti riscaldabili erano la cucina e il bagno. Nelle grandi case dei ricchi, la cucina era sempre lontana dalle stanze in cui si abitava e si dormiva, dove ci si poteva riscaldare solo con i bracieri. I bagni compaiono relativamente tardi nelle case private, i primi in Campania. Questi bagni erano normalmente adiacenti alla cucina dalla quale si attingeva l'acqua calda. Ancora più tardi comparvero i bagni con un pavimento rialzato riscaldato, con un sistema detto ad ipocausto. Nelle regioni fredde, come per esempio in Gallia, Germania e Britannia, questi ipocausti furono costruiti non solo sotto i bagni, ma anche sotto altri ambienti abitativi, perché, in queste regioni, il terreno è umido e, in epoca romana, le strutture delle case, umide per tutto l'anno, sarebbero state fonte di continui acciacchi reumatici. Le stanze nelle case romane erano molto alte rispetto alle nostre; avevano normalmente un'altezza dai cinque ai sei metri. Riscaldarle, così come facciamo noi nelle nostre odierne abitazioni, sarebbe stato veramente molto difficile. Per questo motivo era davvero necessario sfruttare l'energia solare.

A questo riguardo bisogna considerare che, rispetto a noi, la gente, in antichità trascorrevano molto più tempo all'aperto ed era abituata a vivere secondo le stagioni. Non ci sono pervenute particolari lamentele, ma le case romane dimostrano che il caldo estivo era allora considerato più grave del freddo invernale. Quando all'interno faceva troppo freddo, nelle belle giornate d'inverno, si usciva per riscaldarsi al sole, così come ancora oggi fa la gente nelle regioni meridionali d'Italia, dove le case non sono provviste di sufficienti impianti di riscaldamento. Le persone ricche potevano riscaldarsi, riparate dal vento sotto i porticati nei loro bei giardini interni. Le case romane erano in pratica "case da bel tempo" e questo si può dirlo ancora oggi di molte vecchie case italiane. Nel II secolo a.C. le vecchie abitazioni italiche non soddisfacevano più le esigenze ed i nuovi gusti, l'architettura si orientava sempre di più a modelli ellenistici, e pertanto le case venivano ampliate e rese più comode, in particolare con l'aggiunta di un grande giardino (peristylum) circondato su tre lati da un porticato sul quale si affacciano gli ambienti dove, in estate, si mangiava e si riposava. Il porticato proteggeva non solo dal vento, dalla pioggia e dai violenti temporali estivi, ma era anche progettato in maniera tale che, in estate, la luce del sole di mezzogiorno ne rimaneva esclusa, mentre alla mattina e alla sera poteva penetrare fino in profondità, così come anche i raggi del sole invernale. Altra modernizzazione è stata il rialzamento di alcune parti delle case. Così si guadagnava un piano superiore con ambienti che, per mezzo di finestre più grandi, avevano una migliore illuminazione. Il modello del peristilio ha avuto anche un'influenza sull'evoluzione dell'atrio che poteva essere ampliato grazie all'inserimento di colonne distribuite intorno all'impluvio. Così anche il compluvio diventava più grande e dava più luce all'atrio.

## VITRUVIO

Alla progettazione degli edifici residenziali, Vitruvio dedica l'intero sesto libro della sua opera. Gli edifici a cui si riferisce Vitruvio sono le grandi case signorili progettate da architetti per il ceto agiato. Già nel primo capitolo Vitruvio scrive che le abitazioni dovrebbero essere progettate in rapporto alle condizioni climatiche locali. Nelle regioni settentrionali le case dovrebbero essere ben chiuse e proteggere dal freddo, ma aperte verso sud, verso il sole, per accogliere, in inverno, un massimo di apporti solari. Nelle calde regioni del Meridione le case devono invece proteggere dal caldo e offrire frescura in estate. Per questo motivo devono essere orientate verso nord o verso

nordest. In tutte le altre regioni questi due principi si dovrebbero applicare secondo le esigenze e le condizioni climatiche locali. I locali dovrebbero inoltre essere disposti in base alla loro funzione e in rapporto ai percorsi stagionali del sole e questo, afferma Vitruvio, è più facilmente ottenibile in campagna che nelle ristrette condizioni delle città. In considerazione delle differenti esigenze, Vitruvio tratta l'argomento della casa privata in due parti: l'una si riferisce alle case urbane, l'altra ai fabbricati rurali.

Vitruvio illustra l'orientamento più favorevole dei singoli ambienti della casa urbana per la quale prevede tre salette da pranzo (triclini) da usare secondo la stagione: un triclinio invernale, uno estivo e uno per la primavera e l'autunno. Egli scrive: "I triclini invernali e i bagni guardino l'occidente invernale, per il fatto che è necessario vi si utilizzi la luce della sera, inoltre in quanto altresì il sole calante emanando la luce di fronte, largendo il calore rende di sera tale orientamento più tiepido. Le camere e le biblioteche debbono guardare verso est, perché l'utilizzo mattutino richiede illuminazione, inoltre i libri non marciscono nelle biblioteche. Infatti in qualunque di esse guardi verso sud o ovest, i libri sono rovinati da tignole e umidità, in quanto i venti umidi irrompendovi danno vita alle tignole e le alimentano e infondendovi i soffi umidi guastano i volumi con la muffa. I triclini primaverili e autunnali guardino verso est. Poiché essendo esposti alla luce innanzi ai raggi del sole nascente, questo avanzando verso ovest li rende temperati per quel lasso di tempo in cui è opportuno di regola utilizzarli. Gli estivi guardino verso nord, in quanto tale orientamento non è come gli altri durante il periodo del solstizio per il calore diventano torridi, in quanto esso è opposto al corso del sole, sempre refrigerato e garantisce durante l'utilizzo salubrità e piacere. Verso la stessa direzione guardino le pinacoteche, le officine dei tessitori di ricami e le botteghe dei pittori, affinché i loro colori messi in opera per la costanza della luce rimangano di qualità immutata".

Secondo queste regole, i triclini invernali, e anche i bagni (balnearia), dovrebbero essere orientati verso Sudovest (occidente invernale) per procurar loro il sole meridiano anche in inverno, quando l'altezza del sole è bassa permettendo alla luce di penetrare nella profondità degli ambienti. Vitruvio consiglia quest'esposizione anche per tutti i locali che si vogliono tenere più caldi degli altri, perché, nelle altre stagioni, i locali esposti in questa direzione ricevono sole più a lungo rispetto a quelli esposti strettamente verso sud. Le sale da pranzo primaverili ed autunnali dovrebbero invece aprirsi verso Est, affinché il sole possa riscaldarle per il tempo in cui sono utilizzate; quelle estive invece dovrebbero aprirsi verso Nord per mantenerle fresche. L'esposizione verso Nord è la più indicata anche per le pinacoteche e i laboratori di tessitori e pittori "affinchè i colori, per la costanza della luce, non mutino la qualità del lavoro". Per le stanze da letto (cubicula) Vitruvio consiglia un'esposizione verso Est, perché come egli dice " il loro uso richiede il sole mattutino".

## LE TERME

Gli edifici con il più grande fabbisogno energetico erano le terme. Almeno sin dal I secolo a.C. questi bagni pubblici erano ritenuti indispensabili nelle città romane. Già nel 33 a.C. a Roma, sotto Agrippa, esistevano non meno di 170 terme utilizzabili gratuitamente da tutta la popolazione. E, stando a quanto afferma Plinio il Giovane, erano numerosi anche nelle piccole città di provincia. Le terme più grandiose e più imponenti sono quelle d'età imperiale. In queste grandi terme si consumava un'enorme quantità di legna: bisognava non solo riscaldare l'acqua delle piscine e delle vasche, ma anche le ampie aule. Per limitare i consumi di combustibile c'era un solo mezzo: sfruttare al massimo possibile gli apporti solari. A questo proposito Vitruvio dice: "In primo luogo si deve scegliere un luogo che sia il più caldo possibile, cioè non rivolto verso il settentrione e l'aquilone. Specialmente poi i calidari e i tepidari ricevano luce dall'occidente invernale, se però la natura del luogo lo impedirà, per lo meno dal mezzogiorno, in quanto il tempo di lavarsi è stato stabilito soprattutto dal mezzogiorno alla sera". Le terme dovevano quindi sorgere in luoghi soleggiati ed essere orientate verso sud o sudovest (occidente invernale). A Roma, per dare spazio e luce questi immensi edifici, le ampie aree, che garantivano queste condizioni, dovevano essere ricavate dal tessuto urbanistico, spesso con la demolizione di interi quartieri. L'orientamento verso sud o sudovest era consigliato in particolare per i bagni caldi (calidari) e tiepidi (tepidari) e solo in situazioni urbanistiche sfavorevoli, potevano anche avere un orientamento diverso. Nelle terme orientate verso sudovest, le aule erano già riscaldate dal sole quando la gente cominciava ad arrivare, perché i bagni si frequentavano principalmente da mezzogiorno in poi. Il consiglio di Vitruvio concorda con quelli che egli dà in riguardo alle abitazioni private. Così come nelle abitazioni, anche nelle terme gli ambienti più caldi devono essere esposti verso sudest. Quest'orientamento lo hanno quasi tutte le grandi terme di Roma. Davanti ai calidari di queste terme sono inoltre disposti degli ampi spazi liberi, giardini e campi sportivi, che impediscono l'ostruzione della radiazione solare da parte di altri edifici.



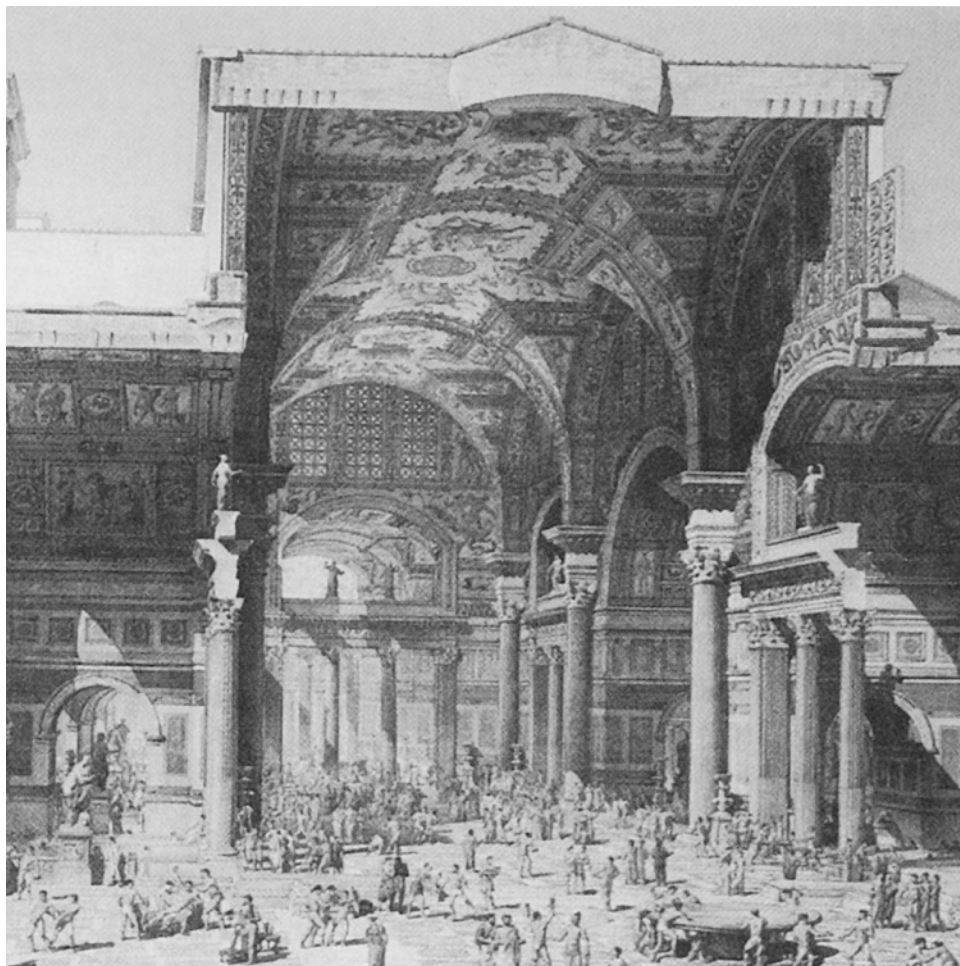


Figura 4. Terme di Caracalla

Le terme d'epoca imperiale potevano essere anche dotate di grandi finestre vetrate che permettevano al sole di penetrare negli ambienti. Secondo la testimonianza di Seneca, queste vetrate furono introdotte nella costruzione delle terme alla sua epoca, ovvero alla metà del I secolo d.C. 38. Da menzionare sono anche le marcate strombature dei muri in corrispondenza delle finestre che facevano penetrare all'interno più luce e quindi anche più calore. Per stabilire in quale misura le regole riportate da Vitruvio sono state rispettate, abbiamo esaminato, per tre diverse regioni climatiche, l'orientamento di alcune terme romane e l'esposizione del loro calidarium. Di Roma conosciamo le planimetrie di tre grandi terme: le Terme di Diocleziano (iniziate nel 298 d.C. da Massimiano e ultimate nel 305-306), le Terme di Traiano e quelle di Caracalla (iniziate nel 206 d.C. da Settimio Severo e ultimate da Caracalla nel 216). In tutti e tre i casi l'asse centrale del complesso è orientata secondo le regole vitruviane in direzione NE-SO e il calidarium si trova esposto verso SO.

Anche a Pompei il calidarium delle Terme del Foro e delle Terme centrali sono orientate verso SO. Nelle terme di Tito, di Nerone e in quelle di Costantino l'asse centrale è orientata in direzione N-S e il calidarium si trova sul lato Sud. Le Terme di Antonino a Cartagine sono invece orientate in asse NO-SE e il calidarium si trova sul lato NO (forse per poter orientare il frigidarium e la palestra verso il mare). Un orientamento N-S dell'asse centrale e l'esposizione del calidarium verso Sud lo troviamo invece nelle Grandi Terme a Nord di Timgad e nelle Grandi Terme di Leptis Magna. A Nord delle Alpi le terme più grandi e più conosciute sono quelle di Treveri: le Terme di S. Barbara (costruite verso la metà del II sec. d.C.) e quelle imperiali (costruite alla fine del III sec. d. C.). L'asse centrale delle Terme di S. Barbara è orientata in direzione N-S e il calidarium si trova sul lato Sud del complesso. L'asse centrale delle Terme imperiali è invece orientata in direzione E-O e il calidarium è esposto verso Est. Questo orientamento viene spiegato con motivi urbanistici: le Terme segnano dignitosamente la fine della via centrale (decumanus maximus) della città che si estende lungo un'asse O-E. Si può quindi affermare che le regole bioclimatiche di Vitruvio sono state rispettate dagli architetti romani nella maggior parte dei casi. Questo fatto non sorprende perché si trattava anche di una misura di risparmio energetico e quindi rivestiva una notevole importanza.

Il sistema di riscaldamento delle grandi terme dimostra uno stato tecnologico particolarmente elevato. Le sale con i bagni caldi erano riscaldate da un sistema detto *ipocausto* che significa "riscaldamento da sotto". Tale sistema consisteva nel far circolare sotto i pavimenti e lungo le pareti l'aria calda proveniente da un forno. La sua invenzione risale al I secolo a.C. ed è attribuita a Caio Sergio Orata che si fece costruire le prime *balneae pensiles* trasferendo al riscaldamento di ambienti una tecnica utilizzata per lo sfruttamento delle sorgenti geotermiche alle falde del Vesuvio. L'*ipocausto* veniva adottato nelle grandi terme romane per riscaldare acqua e ambienti con un solo forno, ma lo troviamo anche in alcune ricche abitazioni per riscaldare i bagni o altre parti della casa. Dall'analisi dei dettagli tecnici di questi impianti si rileva la particolare attenzione dei Romani verso i problemi del riscaldamento. Nei due secoli che seguono l'invenzione dell'*ipocausto*, si assiste a un continuo sviluppo del sistema e del suo rendimento termico, tanto da provocare un mutamento nelle tecniche architettoniche. La combustione della legna, che doveva essere scelta in modo da non produrre eccessivo fumo, si svolgeva nel fornello - *prae-furnium* - che negli edifici termali era opportunamente situato nella parte centrale al fine di diminuire il percorso sia dell'acqua che dell'aria calda. Vitruvio nel suo *De Architectura* descrive un sofisticato sistema di caldaie per riscaldare l'acqua del *calidarium* e del *tepidarium*. Vicino al *prae-furnium*, si trovava la grande caldaia di bronzo o di rame in cui veniva prodotta l'acqua calda. Il sistema era costituito da tre recipienti, uno per l'acqua calda, uno per l'acqua tiepida e uno per quella fredda. I tre elementi erano collegati in serie affinché la quantità d'acqua calda uscita veniva sostituita con acqua tiepida e quella tiepida con acqua fredda. Per sfruttare meglio il calore prodotto nell'impianto di riscaldamento, i bagni caldi per le donne e quelle per gli uomini vennero concentrati nella medesima zona e allineati in modo tale che l'aria calda passasse dritta sotto il pavimento di ambedue le strutture. L'aria calda proveniente dal forno circolava invece sotto le stanze e saliva lungo le pareti in un condotto verticale di efflusso dei prodotti della combustione. A questo scopo, i pavimenti delle aule termali, o degli ambienti domestici, erano sospesi su pile di mattoncini, dette *suspensurae*, regolarmente disposte a distanze uguali.

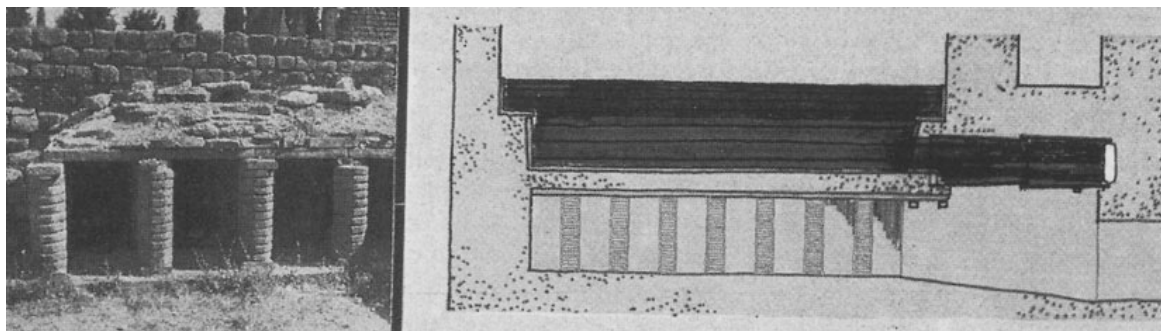


Figura 5. Ipocaustio ad Ostia

Nella terme Stabiane, a Pompei, troviamo un sistema di riscaldamento diretto dell'acqua della vasca dei *calidarium* per mezzo di una scatola cilindrica di bronzo posta sopra il forno come appendice della vasca. L'acqua scaldata nella scatola cilindrica saliva per convezione nella vasca richiamando l'acqua più fredda al fondo. In tal modo si poteva aumentare in modo diretto e uniforme la temperatura della massa idrica senza che superfici fortemente riscaldate venissero a contatto con i bagnanti. Nel bagno della Casa del Menandro, sempre a Pompei, il forno si trova direttamente sotto l'*ipocausto*, e un complesso sistema di aperture regolabili permette di mantenere la temperatura desiderata nel *calidarium* sovrastante, ancora oggi perfettamente conservato.

Alcune aule termali del tardo Impero presentano invece un'ampia apertura a volta (*Heliocaminus*, cioè "stufa solare") per lo sfruttamento diretto dei raggi solari. Queste aperture a Sud-Ovest erano probabilmente finestate con materiale traslucido come mica o vetro, una tecnologia che andava sviluppandosi all'epoca. L'energia solare si aggiungeva così al calore fornito dall'*ipocausto*. Con lo sviluppo della tecnica dell'*eliocamino* nell'architettura romana si ha anche il primo riconoscimento di un "diritto di accesso al sole" da parte di Ulpiano nel II secolo d.C. (quattro secoli dopo, il Codice di Giustiniano affermerà che, in presenza di un *eliocamino*, l'accesso al sole è una necessità assoluta). Tale questione è di straordinaria attualità e a tutt'oggi non risolta dalla normativa urbanistica in vigore.

## BIBLIOGRAFIA

Gros, Pierre (a cura di) 1997. *Vitruvio. de architectura*, Torino, Einaudi.

Vinaccia, Gaetano. 1939. *Il corso del sole in urbanistica ed edilizia*, Milano.

Jorio, A. 1978. *Sistema di riscaldamento delle antiche terme pompeiane*, Napoli.

Behling, Sophia e Stefan 1996. *Solar Power, the evolution of solar architecture*, Munich, Prestel.

AA.VV. 1983. *Architettura bioclimatica*, Roma, ENEA- IN/ARCH.

Gallo, Cettina (a cura di) 1995. *Architettura bioclimatica*, Roma, IN/ARCH.

Wienke, Uwe, *Il sole nell'urbanistica e nell'architettura nell'antichità*, MiniWatt dossier.