

Essays & Viewpoint

architecture

HABITAT RUPESTRI: SOSTENIBILITÀ E PERFORMANCE ENERGETICHE

RUPESTRIAN HABITAT: SUSTAINABILITY AND ENERGY PERFORMANCE

Lorena Musotto *

ABSTRACT - L'articolo analizza le soluzioni e le caratteristiche insediative sviluppate nell'area mediterranea, con riferimento a quelle ipogee e rupestri, e indaga sulle ragioni che hanno indotto l'uomo a preferire forme di architettura sottrattiva. La rilettura critica del fenomeno del trogloditismo ha fatto emergere caratteristiche del vivere rupestre finora ancora poco indagate; ciò in quanto sono carenti gli studi che permetterebbero di tradurre in dati misurabili il comportamento energetico di queste soluzioni costruttive, alle diverse sollecitazioni climatiche e ambientali.

The article analyses the solutions and the settlement characteristics developed in the Mediterranean area, with reference to the hypogean and rupestrian-dwellings, and investigates the reasons that have led man to prefer forms of subtractive architecture. The critical re-reading of the phenomenon of troglodyteism has brought out features of rock living so far still little investigated; this is due to the lack of studies able to translate the energetic behavior of these constructive solutions to the different climatic and environmental stresses in measurable data.

KEYWORDS: *Insedimenti rupestri e ipogei, performance energetiche, architettura vernacolare.*

Rupestrian and underground settlements, energy performance, vernacular architecture.



Fig. 1 - Villaggio a coni a Göreme in Cappadocia, Turchia.

Per lungo tempo si è ritenuto l'abitare in grotta o nel sottosuolo, espressione di uno stile di vita appartenente a un remoto passato, simbolo di arretratezza culturale, economica e sociale. Non si può, tuttavia, ignorare il fatto che la cultura rupestre ha assunto, in alcune aree geografiche, le dimensioni di un vero e proprio fenomeno culturale, che ha avuto come esito lo sviluppo di una così ampia varietà di soluzioni insediative, tipologicamente e tecnicamente complesse; e non v'è dubbio sul fatto che si possa parlare di scelta abitativa consapevole, dettata da ragioni di convenienza e opportunità, tale da giustificare la lunga permanenza dell'uomo in questi luoghi, sin quasi ai giorni nostri. È nelle aree geografiche più ostili, in particolare nelle zone aride e semiaride del deserto e intorno al bacino del Mediterraneo, che si riscontra una maggiore diffusione del fenomeno del trogloditismo e di architetture o di insediamenti realizzati per sottrazione di materia. Un insieme di fattori, tra cui l'aridità e l'orografia impervia del terreno, la carenza di acque superficiali e sotterranee, le forti varianti climatiche stagionali e giornaliere, l'alternanza di stagioni caratterizzate da siccità o al contrario da piogge abbondanti e distruttive, hanno dato luogo a diverse forme di antropizzazione del territorio e ad altrettante soluzioni insediative. L'uomo ha modellato le pareti dei pendii in forma di terrazzamenti da destinare all'uso produttivo; ha realizzato complesse opere di ingegneria idraulica per trasportare, raccogliere e drenare i flussi d'acqua; ha tenuto conto dei fattori di orientamento, esposizione, soleggiamento e ventilazione, sia per favorire il ripristino della copertura vegetale, sia per creare condizioni microclimatiche favorevoli all'attività produttiva agricolo-pastorale e al benessere termico-igrometrico nelle proprie abitazioni. Un ruolo importante, assume in questo quadro, il gruppo sociale che ha definito i criteri e le regole insediative.

L'allargamento di grotte naturali, la realizzazione di cavità artificiali e lo sfruttamento del sottosuolo rappresentano le prime forme di appropriazione e di creazione di uno spazio a uso antropico, dagli innumerevoli vantaggi: riduce il rischio di incursioni ostili, data la loro natura mimetica; consente di ricavare ambienti ben isolati termicamente, attraverso sforzi 'minimi' di sottrazione; permette di attingere alle riserve o cavità d'acqua presenti o di raccogliercela per gravità, stillicidio,

infiltrazione, condensazione. In seguito, l'acquisizione di migliori abilità costruttive ha consentito l'evoluzione da una forma di architettura scavata (sottrattiva) a una fuori-terra (additiva). Nel passaggio dall'una all'altra forma, alcune delle caratteristiche tipologiche o costruttive sono state mantenute e adattate al manufatto architettonico 'estruso'; in entrambe le soluzioni architettoniche, sottrattiva e additiva, possiamo tuttavia riconoscere strategie bio-climatiche comuni: di natura *intrinseca*, connaturate alla struttura stessa del manufatto architettonico (inerzia termica del terreno o dei materiali utilizzati, spessore delle masse murarie, tecniche costruttive, ecc.) e alla configurazione tipologica (distribuzione degli ambienti, disposizione delle aperture, alternanza dei vuoti e dei pieni, ecc.); di natura *estrinseca*, ovvero che si avvalgono degli elementi fisici naturali (sole, acqua, vegetazione, suolo, vento) e geo-morfologici del territorio, per innescare o potenziare moti convettivi d'aria. Il campo d'indagine dei casi-studio, proposti in questa trattazione, è tuttavia limitato alle sole forme di architettura in negativo.

Sebbene si tratti, in alcuni casi, di esempi molto noti nella letteratura scientifica, il metodo d'indagine utilizzato, trascurando intenzionalmente alcuni aspetti legati alla cultura dell'abitare mediterraneo, si concentra nello studio e nell'approfondimento delle soluzioni tecnico-costruttive passive, adottate dall'uomo, per realizzare ambienti climatici interni confortevoli e per ridurre al minimo le dispersioni energetiche. Esempi di architettura sottrattiva trovano ampia diffusione nel territorio dell'Asia Minore. In quest'area geografica, la cultura dell'abitare il sottosuolo era già nota nel 400 a. C. Lo storico greco Senofonte riferisce, nell'*Anabasi*, dell'esistenza di insediamenti sotterranei a Nord del Lago di Van, in Armenia, al confine nord-orientale della Turchia (*Libro IV*, 2, 25, 26, 27). È la Cappadocia, tuttavia, l'area geografica la cui conformazione geologica ha favorito, più che altrove, la diffusione di diverse forme di antropizzazione e di soluzioni insediative in negativo: città sotterranee nelle zone pianeggianti del tavolato (circa 36 città identificate), villaggi a coni scavati all'interno dei caratteristici 'camini di fate', villaggi a parete lungo le fiancate dei *canyon* (Figg. 1-3).

Le origini delle città sotterranee della Cappadocia sono incerte. Gli unici reperti disponibili, che permettono di formulare una datazione circa l'utilizzo di queste cavità, sono frammenti di



Fig. 2 - Città sotterranea di Kaymakli in Cappadocia, Turchia: in primo piano il blocco di pietra per la lavorazione del rame (© Danielle North).

affreschi a tema cristiano risalenti all'incirca al sec. VII d. C. Le città sotterranee si estendono per diversi metri nel sottosuolo e si sviluppano attorno a un pozzo verticale avente la duplice funzione di ventilazione/areazione e, in alcuni casi, di emungimento dell'acqua dalla falda freatica, situata anche a m 70-85 di profondità. Lo scavo avveniva, presumibilmente, in tre fasi secondo un sistema definito *satellitare* (Bixio et alii, 2012)¹. Nella prima fase, si procedeva verticalmente con lo scavo dei pozzi per assicurare ricambi d'aria costanti; nella seconda fase, si procedeva lateralmente scavando i vari ambienti (su piani sovrapposti) e i tunnel di collegamento; nella terza e ultima fase, si provvedeva al congiungimento dei vari sistemi satellitari (Fig. 4). Tra il 1995 e il 2005, un gruppo di ricerca delle Università del Giappone e della Turchia², ha avviato un monitoraggio per misurare la temperatura, l'umidità e la pressione dell'aria, in corrispondenza del primo e dell'ottavo livello della città sotterranea di *Derinkuyu*. Il rilevamento, durato un anno, ha permesso di verificare come la corretta posizione dei pozzi di ventilazione, favorisce l'afflusso e il deflusso dell'aria in tutti gli ambienti e nei corridoi, facendo sì che questo meccanismo s'inverta a seconda della stagione (estiva o invernale)³. La temperatura, nonostante le forti escursioni termiche e le considerevoli variazioni di umidità giornaliere e stagionali che caratterizzano l'ambiente esterno, rimane pressoché costante, aggirandosi intorno ai 7 °C in prossimità dei camini di ventilazione e tra i 13-15 °C nelle zone più interne.⁴

Un altro esempio rilevante d'insediamento ipogeo si trova nella zona sud-est della Tunisia, a *Matmata*, a circa km 40 dal golfo di *Gabes*. Di origine probabilmente preistorica, questa tipologia ebbe ampia diffusione a metà del sec. XI, lungo l'arco del *Grand Erg Orientale*, nella fascia pre-sahariana tra Algeria, Tunisia e Libia. Dall'alto, l'insediamento di *Matmata* si riconosce per via dei grandi crateri circolari, del diametro di circa m 12, scavati nel terreno argilloso a m 7-10 di profondità. Il cratere costituisce il perno attorno al quale sono organizzati i vari ambienti, resi accessibili da

un tunnel inclinato detto *skifa* (Figg. 5, 6). I vani abitativi si trovano al livello più basso, ben isolati termicamente e protetti dai venti carichi di sabbia. Per aumentare la luminosità (che arriva debole negli strati più profondi delle cavità) e respingere il calore, le pareti delle stanze sono rivestite con una finitura in latte di calce, mentre il pavimento con una finitura di gesso. Al centro della corte è ricavata una cisterna verso cui converge un sistema di canali, scavati lungo la *skifa*, per la raccolta dell'acqua piovana. Tra il 2005 e il 2008, il Dipartimento della Facoltà di Architettura di Hosei (Giappone) nell'ambito di un laboratorio di progetto di eco-storia, ha avviato un monitoraggio della temperatura e dell'umidità dell'aria: le misurazioni sono state eseguite negli ambienti domestici, nel granaio, nel cortile e nella *skifa*, a 1.000 millimetri di altezza, dalle 20:00 del 22 di agosto alle 16:00 del 25 agosto; il monitoraggio ha evidenziato che a fronte di una temperatura esterna diurna e notturna variabile dai 37 °C ai 17 °C, la temperatura interna si manteneva costante, tra i 25-26 °C, grazie anche alla bassa conducibilità termica del terreno (0,314 W/m²)⁵.

Il fenomeno rupestre ha interessato anche il territorio italiano, sin dalla preistoria. La conformazione geo-morfologica dell'Italia meridionale ha reso possibile l'originarsi di numerosi insediamenti in negativo. Nel tarantino, nella zona di Casalrotto a Mottola e a Massafra, troviamo persino abitazioni ipogee a pozzo, risalenti presumibilmente al periodo compreso tra il sec. XIII e la metà del sec. XV, la cui conformazione ricalca la tipologia delle abitazioni a pozzo di *Matmata*. Rientrano in questa tipologia le *Vicinanze* di Massafra (Figg. 7, 8): esse rappresentano un esempio straordinario d'insediamento sottrattivo a pozzo; tuttavia, la tipologia abitativa troglodita che più si riscontra in tutto il territorio italiano, è di tipo rupestre e/o mista (rupestre/ipogea). L'origine di questi complessi è neolitica, sebbene, l'uso delle cavità in forma di necropoli e la realizzazione dei terrazzamenti per scopo agricolo, risale all'età del Bronzo. La scelta del sito non era casuale, ma fun-

zionale all'esposizione solare; venivano, difatti, privilegiate le pareti dei pendii esposte a sud. L'uso abitativo delle cavità è successivo e si fa risalire, normalmente, ai secc. IX-XI.

Nei *Sassi* di Matera, la configurazione a ferro di cavallo dei corpi aggiunti, *lamioni*, dà luogo a vere e proprie corti funzionali non solo allo svolgimento delle mansioni domestiche e delle attività condivise, ma anche a creare zone d'ombra, meno esposte ai venti dominanti (Figg. 9-11). Lo scavo artificiale delle grotte, non è orizzontale ma obliquo; l'inclinazione consente sia la raccolta dell'acqua piovana, sia di agevolare o al contrario ostacolare l'ingresso dei raggi solari. Tra il 2012 e il 2013, attraverso uno studio congiunto tra la Facoltà di Architettura della Basilicata (Dipartimento di Ingegneria e Fisica ambientale) e la Facoltà di Ingegneria di Bari (Dipartimento di Architettura e Urbanistica), i ricercatori Cardinale, Rospi e Stefanizzi hanno avviato delle campagne di monitoraggio nelle strutture dei *Sassi* di Matera e dei *Trulli* pugliesi, per verificare il comportamento energetico di queste forme di architettura vernacolare, sottoposte a diverse sollecitazioni ambientali esterne nei diversi periodi dell'anno. Il metodo di analisi, oltre al monitoraggio dei parametri ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa e velocità dell'aria), si è avvalso anche di test sui materiali eseguiti *in situ* e in laboratorio e di una simulazione dinamica mediante *software* (*Designer builder / EnergyPlus*).

I dati raccolti rivelano l'efficace prestazione energetica della muratura (in grado di annullare le variazioni climatiche esterne) e valori di temperatura interna confortevoli (24-28 °C), anche in condizioni di temperatura massima esterna che sfiora i 40 °C. Un contributo importante alla ventilazione naturale è dato dalla velocità dell'aria (0,2 m/s) - registrata nei mesi tra giugno e settembre e resa ancora più efficace dalle finestre 'sopraluce', che attenua la sensazione di *discomfort* generata dall'alto tasso di umidità relativa esterna (80%), attestandosi intorno al 50-60% negli ambienti interni. Meno confortevole è il valore della temperatura interna durante la stagione invernale (circa 10 °C); secondo gli autori, tut-

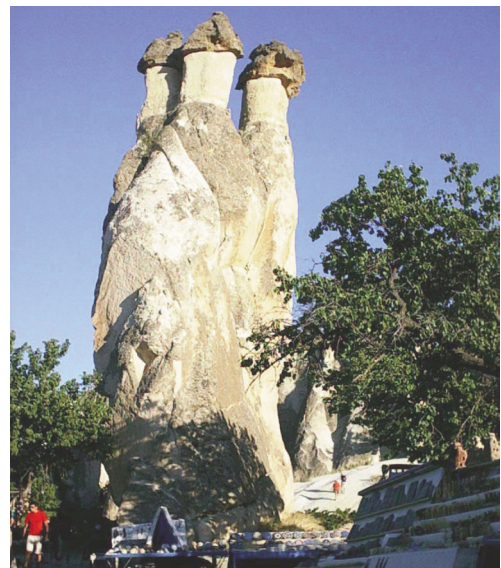


Fig. 3 - I camini di fata della Cappadocia, Turchia.

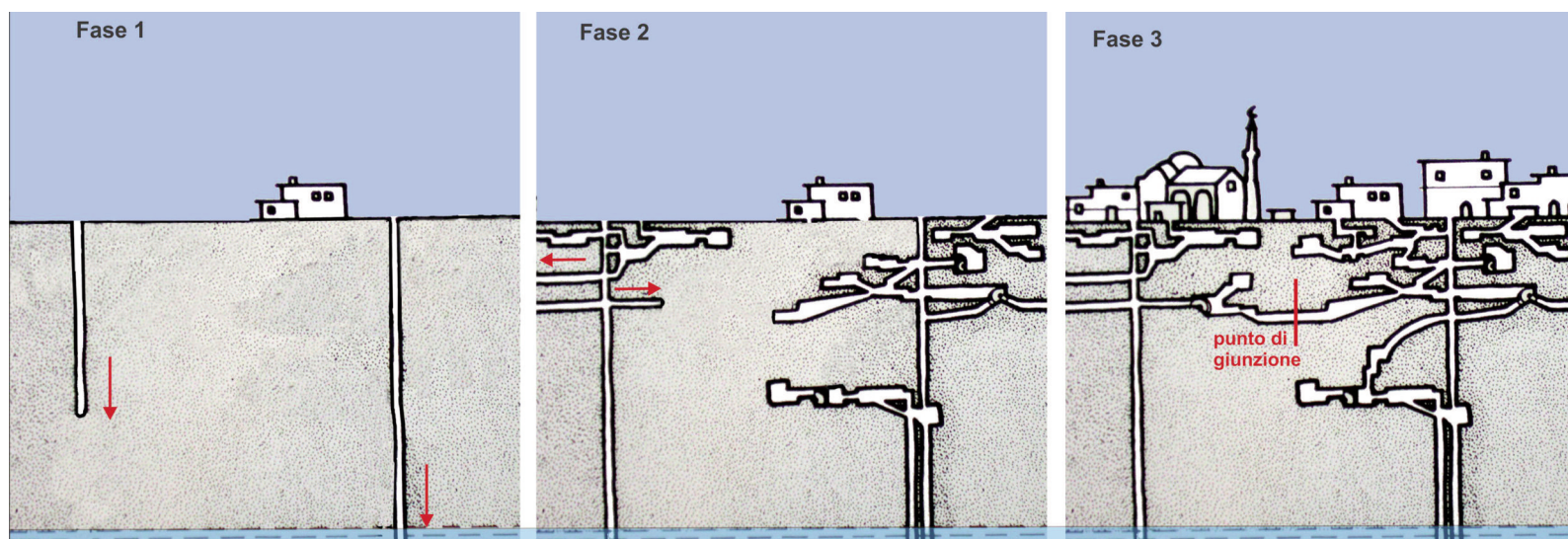


Fig. 4 - Ipotesi sulle fasi costruttive delle città sotterranee della Cappadocia, Turchia: Fase 1, scavo verticale dei pozzi per assicurare ricambi d'aria costanti; Fase 2, scavo radiale degli ambienti e dei tunnel di collegamento su piani sovrapposti; Fase 3, congiungimento dei vari sistemi satellitari.

tavia, sarebbe sufficiente installare semplici sistemi di riscaldamento (per esempio, una stufa a legna), per ristabilire le condizioni di *comfort*.⁶

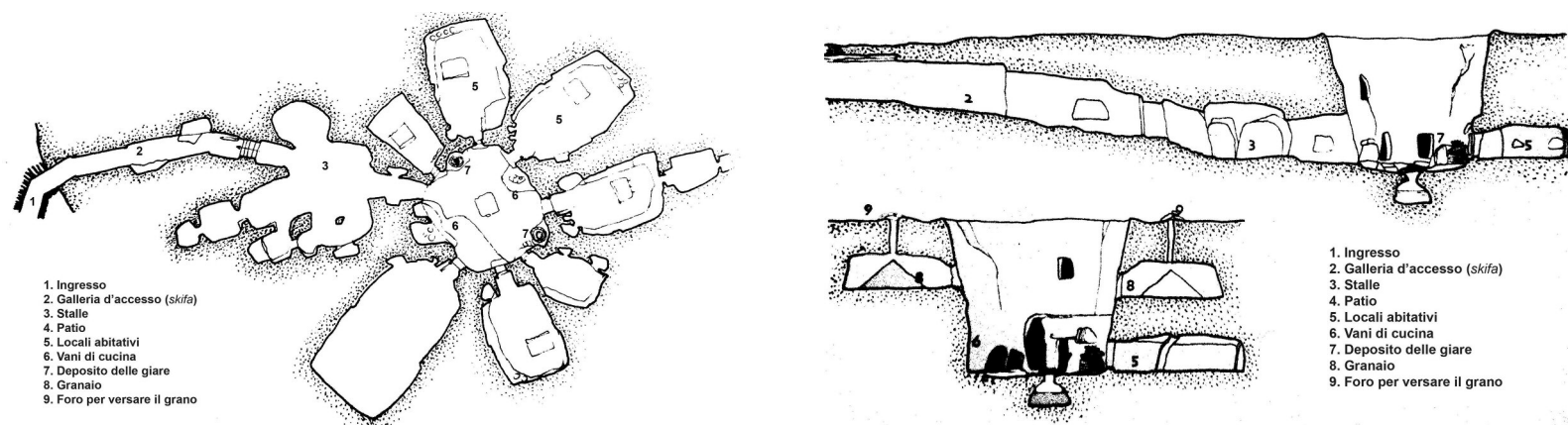
Un'intensa frequenza di insediamenti rupestri, simili alle gravine pugliesi, legati alla disposizione tabulare dei terreni, si riscontra nell'area sud-orientale della Sicilia. Tra i più noti: il borgo rupestre di Sperlinga (in Provincia di Enna) e gli insediamenti di Pantalica e Cava d'Ispica (in Provincia di Ragusa); meno noto, ma ugualmente interessante per la continuità abitativa che si è protratta fin quasi ai giorni nostri, è l'abitato rupestre di *Chiafura* a Scicli. Questo insediamento occupa il versante sud-ovest del Colle di San Matteo, uno sperone roccioso calcareo (circa m 227 s.l.m) delimitato a nord, a ovest e a sud dalle valli fluviali del torrente di Modica, di Santa Maria la Nova e di San Bartolomeo. La nascita del borgo rupestre coincide, probabilmente, con l'estensione della città oltre le mura - avvenuta intorno al sec. XIV - da cui il nome *Chiafura*, che presumibilmente significa 'quartiere fuori dalla città'. L'articolazione dell'abitato è molto simile a quella dei Sassi di Matera e avviene attraverso terrazzamenti, i *raffi*, ovvero spazi aperti di pertinenza di una o più unità abitative, utilizzati o per la coltivazione degli ortaggi o in forma di cortile per lo svolgimento di mansioni domestiche, spesso condivise. I *raffi* costituiscono anche i

'tetti' delle abitazioni sottostanti e il collegamento tra essi avviene attraverso strade che s'inerpicano lungo il pendio, le cosiddette *lenze*. L'insediamento si componeva anche di grotte a tre piani, servite da scale esterne (Fig. 12).

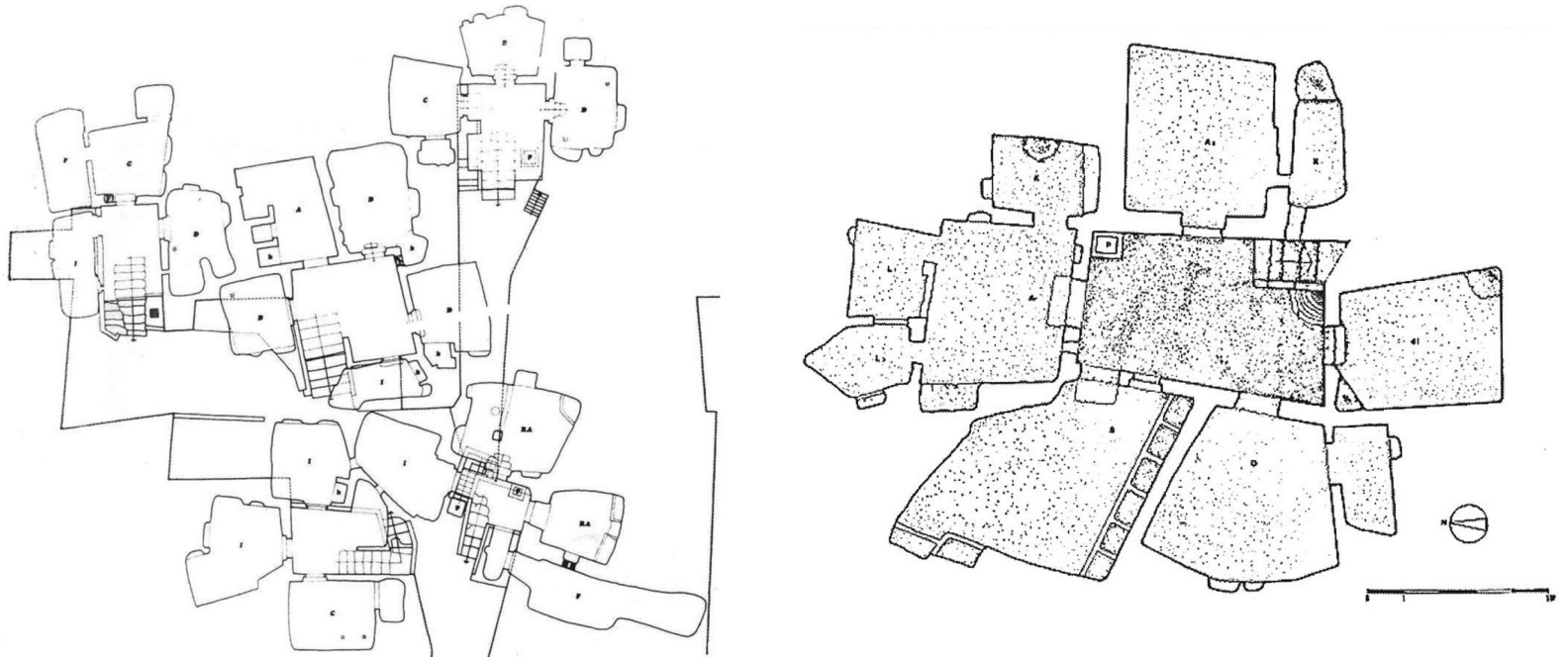
Chiafura fu abitata sino alle soglie degli anni '50 del sec. XX, fino a quando, con l'emanazione della L. 640/1954 per l'eliminazione delle abitazioni malsane, non venne abbandonata. Il provvedimento ha interessato tutti gli insediamenti rupestri diffusi nel territorio italiano, divenuti simboli di vergogna nazionale, di precarietà, luogo degli emarginati e degli esclusi, determinando l'espulsione della popolazione da questi luoghi che è stata trasferita, talvolta in maniera forzata, nei nuovi quartieri di edilizia economica e popolare. Con il trascorrere del tempo il nuovo ha preso il sopravvento sul 'vecchio', cancellando dalla memoria collettiva l'identità storica di un'intera comunità rurale 'vissuta tra le pietre'. Soltanto tra la fine degli anni '60 e i primi anni '70 del sec. XX, si assiste a un primo interessamento da parte degli storici verso le soluzioni insediative rupestri. Contestualmente, le riflessioni sui temi della sostenibilità ambientale, maturate in seguito alla crisi energetica del 1973, aprono la strada a una nuova chiave di lettura delle forme di architettura vernacolare, che ha avuto come esito lo spostamento di

una parte della ricerca da un livello d'indagine storico-architettonico ed etno-antropologico, a un altro, più interessato agli aspetti tecnico-costruttivi e bio-climatici passivi.

In questo ambito di ricerca si inserisce il progetto finanziato dalla Comunità europea *VerSus. Lessons from Vernacular Heritage to Sustainable Architecture*⁷, condotto tra il 2012-2013 da cinque gruppi di ricerca universitari⁸. Partendo dall'osservazione di casi-studio di architetture vernacolari, l'attività di ricerca è stata finalizzata alla realizzazione di un inventario delle conoscenze tecnologiche e ambientali, con l'obiettivo di fornire strategie e linee-guida da tradurre, in chiave innovativa, nella progettazione contemporanea, utilizzando un metodo d'indagine multidisciplinare su tutti i fattori socio-culturali ed economici, che hanno determinato lo sviluppo della scienza locale in relazione al contesto geografico. Pur riconoscendo l'importanza di questo approccio non si può, tuttavia, sottovalutare il contributo di un tipo di ricerca più strettamente finalizzata allo studio delle soluzioni tecnico-costruttive passive della cultura arcaica, oggi più che mai di grande attualità e importanza e in linea con gli obiettivi comunitari di realizzare edifici NZEB (*Near Zero Energy Buildings*). Questa nuova prospettiva, costringe i progettisti - o chiunque altro che a vario titolo influisce e/o condiziona



Figg. 5, 6 - Pianta e sezione tipo di un'abitazione a pozzo a Matmata, Tunisia.



Figg. 7, 8 - Abitazioni a pozzo nel centro storico di Massafra, Puglia (Fonseca e Lembo, 1977); Vicinanza in via Castiglia a Massafra, Puglia (rilievo R. Caprara).

le scelte che riguardano la gestione del territorio e delle risorse - a un ripensamento dei criteri progettuali e ad adottare soluzioni che - in opposizione al prevalere di soluzioni e modelli endogeni sviluppati essenzialmente dai Paesi del Nord-Europa - privilegino modelli insediativi più coerenti con l'identità e la cultura costruttiva locale e con le varianti climatiche e ambientali del Mediterraneo. In questi contesti, infatti, il picco dei consumi energetici non è tanto da riferire al riscaldamento invernale, quanto piuttosto al raffrescamento estivo.

Ciononostante, molto limitati e confinati all'interno di un ristretto ambito scientifico-disciplinare, sono quegli studi che permetterebbero di verificare e tradurre in dati misurabili le performance energetiche di queste, seppur arcaiche, soluzioni costruttive passive della tradizione. Altrettanto carenti, o limitati a pochi esempi isolati, sono i progetti e le opere realizzate che contemplano il riuso innovativo del repertorio costruttivo della tradizione mediterranea. Concludendo, si può certamente affermare, che l'obiettivo di coniugare sostenibilità, tradizione e innovazione è oggi, più che mai, tra le sfide culturali più importanti del nostro secolo. Esso non può prescindere dall'identità del luogo e dalla coscienza ambientale che apparteneva alle culture costruttive tradizionali.

ENGLISH

For a long time, it has been thought that dwelling in a cave or in the subsoil was an expression of a remote lifestyle, symbol of cultural, economic and social backwardness. But we cannot ignore the fact that rupestrian culture has in some geographical areas become a huge cultural phenomenon, which has resulted in the development of a wide variety of settlement solutions, typologically and technically complex; there is no doubt that we can talk of conscious housing choice, dictated by reasons of convenience and opportunity, such as to justify the long stay of man in these places, almost up to the present day. A greater spread of the phenomenon of troglodytism and of rupestrian architectures and settlements can be found in the most hostile geographic areas, especially in the arid and semiarid desert areas and around the Mediterranean basin. Many factors like soil dryness, scarcity of surface and ground waters, rugged orography, seasonal and daily climatic variations, alternating of drought seasons and destructive abundant rainfall, have produced a big variety of territory anthropization systems as well as settlements solutions. The man has shaped the walls of the mountains into terracing cropping; has built complex hydraulic engineering systems

for transport / collect / drain water streams; has considered orientation, sun exposition and ventilation to create optimal microclimatic conditions for agricultural, stock breeding, and for the hygrothermal comfort of their homes as well as the renewal of vegetation cover in the landscape. An important role in this context has been given by the community, which has defined the criteria and settlement rules.

The enlargement of natural caves, the realization of artificial cavities and the exploitation of the subsoil represent the first forms of appropriation and creation of a space for anthropic use, with countless advantages: it reduces the risk of hostile incursions due to their mimetic nature; it allows good thermally insulated environments by minimum subtracting efforts; it permits to draw or collect water from cavities by gravity, dripping, infiltration or condensation. Later on, the acquisition of better constructive abilities allowed evolution from the excavated architecture (subtractive) to a constructed architecture (additive). During the evolution from one form to the other one, some typological and constructive features have been maintained and adapted to the extruded architectural artefact. In both cases, subtractive and additive architecture these common bio-climatic



Figg. 9-10 - Sezione Sasso Barisano nei Sassi di Matera, Puglia; Evoluzione tipologica dei Sassi: dalla grotta al lamione (P. Laureano, 1995).

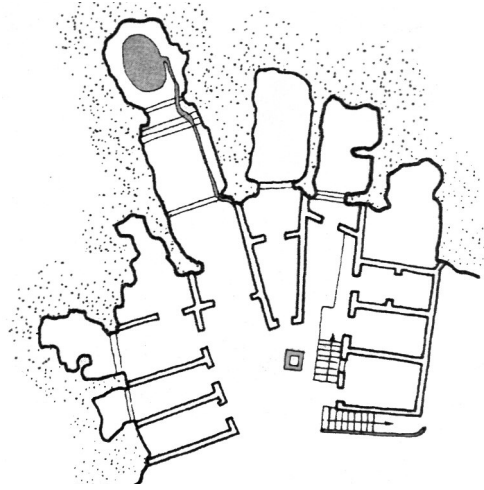


Fig. 11 - Configurazione a corte dei lamioni (P. Laureano, 1995).

strategies can be of intrinsic or extrinsic nature. The first depends on the structure of the architectural artefact (thermal inertia of the ground or of the materials used, thickness of the walls, constructive techniques, etc.) and on the typological configuration (interior layout, position of the windows, alternation of voids and built spaces, etc.). The second ones make use of natural physical elements (sun, water, vegetation, soil, wind) and of the geo-morphological composition of the territory to trigger or increase air convective motions. The proposed case studies in this paper are limited to rupestrian architecture.

Although some of the proposed examples are well-known to the scientific literature, the method of investigation deliberately leaves out some of the aspects related to the Mediterranean living culture and focuses on studying and deepening the passive technical-constructive solutions that man have adopted to create comfortable indoor climatic and to reduce energy dispersion. Examples of rupestrian architecture are widespread in the territory of Asia Minor. In this geographic area, the culture of inhabiting the subsoil was already known by 400 B.C. The Greek historian Xenophon, reports in the *Anabasis*, the existence of underground settlements at the north of Lake Van in Armenia, along the north-eastern border of Turkey (Book IV, 2, 25, 26, 27). But it is in the Cappadocia geographical area more than anywhere else that the subsoil conformation has favoured the diffusion of different types of anthropization and rupestrian hypogeum settlement solutions: underground towns in the plateau (about 36 identified cities), villages in the shape of excavated cones inside the characteristic fairy chimneys, wall villages along the sides of the canyons (Fig. 1-3).

The origins of the underground towns of Cappadocia are uncertain. The only documents available, which allow us to date the use of these cavities, are fragments of Christian themed frescoes approximately of the VII B.C. The subterranean towns extend for several meters underground and are developed around a vertical well. The well provides ventilation-aeration and, in some cases it is used for the groundwater extraction, the aquifer can be located at 70-85 m of deep. The excavation was probably realized in three different phases in accordance to the satellite con-

structive system (Bixio et alii, 2012)¹. The first phase was the vertical excavation of the wells to ensure constant air changes; the second one proceeded laterally with the excavation of the rooms (on superimposed floors) and the connecting tunnels; in the last phase, all the satellite systems were connected (Fig. 4). Between 1995 and 2005, a research group from the Universities of Japan and Turkey² carried out a monitoring survey to measure the temperature, the humidity and the air pressure at the first and eighth level of the underground city of Derinkuyu. The collection of the data lasted a year and allowed to verify how the exact position of the ventilation wells, allows the inflow and the outflow of the air in all rooms and corridors, making possible that this mechanism reverses according to the season (summer or winter)³. Despite the external strong thermal excursions and the consistent daily and seasonal humidity variations, typical of this environment, the temperature remains almost constant. Around the ventilation chimneys the temperature is about 7 °C while in the internal areas is between 13-15 °C.⁴

Another important example of a hypogeum settlement is in the south-eastern part of Tunisia, in Matmata, about 40 km from the Gulf of Gabes. This typology, of probably prehistoric origins, has been widely used during mid XI century in the area along the arch of the Eastern Grand Erg and in the pre-Saharan strip between Algeria, Tunisia and Libya. Looked from above, the settlement of Matmata is identified by the large circular craters of about 12 m in diameter that are excavated in the clay soil at a depth of 7-10 m. The crater is the pivot around which several rooms are organized and it is accessible by a sloping tunnel called skifa (Fig. 5, 6). The living areas are located at the lowest level because it is where is achieved the best thermal insulation and protection from sandy winds. To increase the brightness at the deeper levels of the cavities and to reject the heat, the walls of the rooms are whitewash with slaked lime (calcium hydroxide), while the floor has a plaster coating. At the centre of the courtyard there is a hypogeum cistern towards which is converging a system of canals dug along the skifa, for the collection of rainwater. Between 2005 and 2008, the Department of the Architecture Faculty of Hosei (Japan) within a laboratory project of eco-history, initiated the monitoring of air temperature and humidity. The measurements were performed in the rooms, in the barn, in the courtyard and in the skifa, at the height of 1,000 mm, from 8 pm of the 22nd to 4 pm of the 25th of August; the results showed that in relation to the external temperature ranging from 37 to 17 °C, the internal temperature remained constant between 25-26 °C, thanks to the ground low thermal conductivity (0.314 W / m²).⁵

The rupestrian phenomenon has also interested the Italian territory since prehistoric times. The geo-morphological conformation of southern Italy has made possible the development of several excavated settlements. In the Tarantino region, in the area of Casalrotto in Mottola and in Massafra, we can find hypogeal houses, presumably dating back to the period between the XIII and mid XV century, whose conformation reproduces the typology of the dwellings of Matmata. We can include in this typology the Vicinanze di Massafra (Fig. 7, 8): they represent an extraordinary example of dug settlement developed around a courtyard; even so,

the most common type of troglodyte housing typology best found in the Italian territory is the rupestrian type or a mix of rupestrian and hypogeum types. The origin of these complexes is of the Neolithic, although the use of caves as necropolis and the construction of terracing for agricultural purposes dates back to the Bronze Age. The choice of the site was never casual but always functional to solar exposure; the versants of the slopes facing south were the privileged. The residential use of the cavities is subsequent and is traced back to the IX-XI centuries.

In the rupestrian settlement of Matera in the Basilicata region (known as Sassi di Matera), the configuration as a horseshoe shape of the added bodies, Lamioni, it results in functional courtyards which apart from carrying out domestic tasks and shared activities, create shaded areas less exposed to prevailing winds (Fig. 9-11). The artificial excavation of the caves is not horizontal but oblique; the inclination allows the collection of rainwater and the regulation of the sun's rays. Between 2012 and 2013, through a joint study between the Faculty of Architecture of Basilicata (Department of Engineering and Environmental Physics) and the Faculty of Engineering of Bari (Department of Architecture and Town Planning), the researchers Cardinal, Rospi and Stefanizzi started a monitoring campaigns on the structures of the Sassi di Matera and the Apulian Trulli (typical rural stone construction of the Murge area). They wanted to verify the energetic behaviour of these vernacular architecture, subjected to stress of external environmental during the different periods of the year. In addition to the monitoring of the environmental parameters (air temperature, average radiant temperature, relative humidity and air velocity) the analysis method tested the materials both in situ and in the laboratory and performed also a dynamic simulation by a software (Designer builder / EnergyPlus). The collected data reveal the effective energy performance of the brickwork (able to nullify external climatic variations) and comfortable indoor temperature values (24-28 °C) even in conditions of high external temperature of 40 °C. An important contribution to natural ventilation is given by the air speed (0.2 m/s) recorded in the months between June and September; the use of top light windows increase the ventilation and reduce the discomfort generated by high value of external relative humidity (80%), which can settle around 50-60% in internal rooms. Less comfortable is the indoor temperature during the winter season (about 10 °C); according to the authors this could be improved by installing simple heating systems (like a wood stove) and re-establish comfort conditions.⁶

An intense frequency of rock settlements, similar to the Apulian ravines (known as gravine), with tabular arrangement (a terraced layout) of the land, can be found in the south-eastern part of Sicily. Among the best known: the rupestrian village of Sperlinga (in the Province of Enna) and the settlements of Pantalica and Cava d'Ispica (in the Province of Ragusa). Less known but equally interesting is the rupestrian settlement of Chiafura in Sciacca which has been inhabited almost to the present day. This settlement occupies the south-west slope of the San Matteo hill, a calcareous rocky spur (about 227 m a.s.l.) delimited to the north, the west and the south by the river valleys of the



Fig. 12 - Esterno ed interno di un'abitazione scavata di Chiafura a Scicli, Sicilia.

stream Modica, Santa Maria la Nova and San Bartolomeo stream. The birth of the rupestrian village probably coincided with the extension of the city beyond the walls - which took place around the century XIV - whence the name Chiafura, which presumably means district outside the city. The articulation of the inhabited area is very similar to that of the Sassi di Matera and occurs through terracing, the raffi, open spaces belonging to one or more residential units, used either for growing vegetables or as courtyard for the housework's tasks, and often shared. The raffi are the roofs of the dwellings below and the connection between them takes place through roads that climb along the slope, the so-called lenze. The settlement was also composed of three-storey caves, accessible by external stairs (Fig. 12).

Chiafura was inhabited until the beginning of the 50's until the implementation of the enactment of Law 640/1954 for the elimination of insalubrious houses. The measure involved all the rocky settlements spread throughout Italy, which became the symbols of national shame, of precariousness, of a place of the marginalized and the excluded; this resulted in the expulsion of the population that was transferred and sometimes forced, into new districts of social housing. During the years the new has taken over the old, erasing from the collective memory the historical identity of an entire rural community which lived among the stones. Only in the late 60's and early 70's there is a new interest by historians towards rupestrian settlements. At the same time the reflections on the issues of environmental sustainability matured following the energy crisis of 1973, has opened the way for a new interpretation of the vernacular architecture. This resulted in a new interest focus not anymore on the level of historical-architectonic and ethno-anthropological, but on the more interesting passive technical-constructive and bio-climatic strategies.

In this ambit of research fits the project funded by the European community VerSus. Lessons from Vernacular Heritage to Sustainable Architecture⁷, conducted between 2012-2013 by five university research groups⁸. Starting from the observation of vernacular architecture case studies, the research activity was aimed at the realization of an inventory of technological and environmental knowledge, to provide strategies and guidelines to be translated, in an innovative key, in contemporary design. With the use of a multidisciplinary survey method comprehensive of all socio-cultural and economic

factors which have led to the development of local science in relation to the geographical context. While recognizing the importance of this approach, we cannot underestimate the contribution of a type of research aimed at the study of passive technical-constructive solutions of archaic culture, nowadays of great relevance and importance and in line with the targets of the European community of realizing NZEB buildings (Near Zero Energy Buildings). This new perspective forces designers - or anyone else can influences any choice regarding the management of territory and of resources - to rethink the design criteria and to adopt solutions that favour settlement models much more coherent with local identity, constructive-culture and the climate and environmental condition of Mediterranean areas, in opposition to the prevailing solutions developed by Northern European countries; in fact in Mediterranean contexts unlikely the North of Europe, the peak of energy consumption does not happen with winter heating but with summer cooling. Even so and very limited and confined within a narrow scientific-disciplinary area are those studies that could allow to investigate and translate into data the energetic performances of these traditional passive constructive-solutions. Devoid or limited to few examples are also the projects and the realized works that contemplate an innovative reuse of the constructive repertoire of the Mediterranean tradition. In conclusion, it can certainly be said that the goal of combining sustainability, tradition and innovation is today, more than ever, among the most important cultural challenges of our century. The achievement of this goal cannot ignore the identity of the place and the environmental awareness that belonged to traditional construction cultures.

NOTES

- 1) Bixio, R., De Pascale, A., Caloi V. (2012), "Rupestrian cultures of Turkey: reflections on the analysis and classification of a fragile heritage", in *The rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Caprara, R., Crescenzi, C. (eds.), Dadsp-UniFi, Tipografia il David, Firenze, pp. 191-197.
- 2) Aydan, Ö., Tokay University (Dept. of Marine Civil Engineering, Shimizu, Japan); Ulusay, R., Hacettepe University (Dept. of Geological Engineering, Applied Geology Division, Ankara, Turkey); Hisataka, T., Nihon University (Dept. of Geological Engineering, Koryjama, Japan); Yüzer, E., Istanbul Technical University (Dept. of Geological Engineering, Instambul, Turkey).
- 3) Aydan, Ö. et alii (2008), "Studies on Derinkuyu

antique underground city and its implications in geoenvironment", in *First Collaborative Symposium of Turk-Japan Civil Engineers*, Istanbul, Turkey. Available from: www.ins.itu.edu.tr/1jsecetr/9-OAydan.pdf. [Accessed: 22 november 2010].

- 4) Bixio, R. (1995), *La cultura rupestre nell'area Mediterranea e in Cappadocia*, in Bertucci, G., Bixio, R., Traverso, M. (eds.), *Opera Ipogea* (Le città sotterranee della Cappadocia), n. 1/1995, Erga Edizioni, Genova, pp. 22-29.
- 5) Deguchi, K., Ohi, M., Sakai, K., Suzuki, Y., (2006), "Field Measurements on Thermal and Environments of Underground house in Matmata, Tunisia", Dipartimento di Architettura, Università di Hosei (Giappone). Available from: <http://repo.lib.hosei.ac.jp/bitstream/10114/2813/1/kogakubu%2042%20deguchi,ohi,sakai,suzuki.pdf>. [Accessed: 21 september 2017].
- 6) Cardinale, N., Rospi, G., Stefanizzi, P. (2013), "Energy and microclimatic performance of Mediterranean vernacular buildings: The Sassi district of Matera and the Trulli district of Alberobello", in *Building and Environment*, vol. 59, pp. 590-598. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/257172104> [Accessed: 17 April 2017].
- 7) Correia, M., Dipasquale, L., Mecca S. (eds.) (2014), *Versus. Heritage for Tomorrow. Vernacular Knowledge for sustainable architecture*, Firenze University Press. Available from: <https://www.esg.pt/versus/publications.html>. [Accessed: 10 september 2017].
- 8) CRAterre-Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble (Francia); DIDA Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Firenze (Italia); DICAAR Dipartimento di Ingegneria civile, Ambientale e Architettura, Università degli Studi di Cagliari (Italia); Universitat Politècnica de València (Spagna); Culture Lab (Belgio).

REFERENCES

- Bellia, P. (1998), *Città rupestri. Il caso Chiafura*, Edizioni Contemporanea, Firenze.
- Bertucci, G., Bixio, R., Traverso, M. (eds) (1995), "Le città sotterranee della Cappadocia", in *Opera Ipogea*, n. 1, Erga Edizioni, Genova.
- Caprara, R., Crescenzi, C. (eds) (2012), *The rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Dadsp-UniFi, Tipografia il David, Firenze.
- Demir, Ö (1990), *La Cappadocia, culla della storia*, Tipografia Ajanstürk, Ankara.
- Di Stefano, G. (1997), *Cava Ispica*, Utopia Edizioni, Ragusa.
- Laureano, P. (1993), *Giardini di Pietra, I Sassi di Matera e la civiltà mediterranea*, Bollati Boringhieri Editori, Torino.
- Moretti, G. (2005), *La Casa di Hatra. Uso delle risorse ambientali e climatiche nella tradizione abitativa mediterranea*, Edizioni Tipoarte, Ozzano Emilia (BO).
- Mottolese, C. (2013), *Massafra sotterranea. La città nascosta. Percorsi tra grotte, sotterranei, antichi opifici e necropoli*, Scorpione Editrice, Taranto.
- Musotto, L. (2010), *Insedimenti sostenibili della tradizione mediterranea. Il recupero dei saperi e delle conoscenze locali nei processi di pianificazione e progettazione contemporanea*, Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Napoli Federico II, XXIII ciclo.
- Pacetto, G. (2009), *Memorie storiche civili ed ecclesiastiche della città di Scicli*, a cura di Saracino A., coll. n. 1, Edizioni Grafiche Santocono, Rosolini.

* LORENA MUSOTTO, architetto, è Dottore di Ricerca in Progettazione Architettonica e Tecnologie Innovative per la Sostenibilità Ambientale. Svolge attività di ricercatrice sui temi della bioedilizia, della sostenibilità ambientale e sulle soluzioni insediative rupestri e ipogee. Ha all'attivo pubblicazioni scientifiche di articoli e saggi su riviste nazionali e volumi collettivi. Cell. +39 328/37.47.741. E-mail: arch.lorena@gmail.com.