

# Timbrel vaults in Sicily. Constructive techniques and intervention methodologies

Giovanni Fatta\*, Tiziana Campisi, Calogero Vinci

---

## Highlights

The spread in Western Sicily of tiled vaults (“realine”) took extensively place from the second half of the XVIII century to the first decades of the XX century. The encouraging results of the load tests on the intact vaults and on example-vaults support the choice of re-construction and demonstrate how the instruction of workers to the competence of obsolete techniques involves a limited financial and temporal commitment, taking a quality of the intervention and the respect of history. The constructive knowledge instils confidence in the performance of tiled vaults.

---

## Abstract

Almost totally ignored by the official historical and current technical culture, both locally and in the Italian ambit, thin brick vaults actually are mostly demolished or transformed in decorative ceilings. The detailed and comparative knowledge of many cases, encouraged also by building continuity in other countries, but also the partial and total reconstructions that have occurred in recent years, allow to properly assess potentialities and limitations, the real possibility or opportunity for their maintenance, rehabilitation or re-proposal, even preserving the structural function.

---

## Keywords

Western Sicily, Tiled vault, Constructive technique, Recovery, Reconstruction

---

## 1. INTRODUCTION

Among the many types of vaults found in Sicily, aiming to combine economy and lightness without sacrificing safety, we analyse Sicilian vaulted floorings consisting in three or four overlapping layers of thin tiles woven together with plaster (realine vaults, according to local definition). There is no reliable information of origins of these vaults, this type of vaulting was likely to be introduced in Sicily in mid eighteenth century, and reinterpreted in light of local building culture. It has repeatedly given original solutions, given also the peculiar environmental and geographical conditions and the high seismicity of the area. Not casually, a large use of these vaults in Western Sicily, especially in Palermo, date back to the period immediately following XVIII century earthquakes (1726 and 1751): these vaults were in fact considered good solutions if applied for earthquakes prevention, because of their lightness and

### Giovanni Fatta

*D'ARCH - Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, ed. 8, Palermo, 90128, Italia*

### Tiziana Campisi

*D'ARCH - Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, ed. 8, Palermo, 90128, Italia*

### Calogero Vinci

*D'ARCH - Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Palermo, viale delle Scienze, ed. 8, Palermo, 90128, Italia*

*\* Corresponding author  
Tel.: +39-091-23896154;  
fax: +39-091-488562;  
e-mail: giovanni.fatta@unipa.it*

a presumed monolithic structure, which could reduce the thrust on perimeter walls. Paradoxically, the collapse of some of these structures during seismic events in the nineteenth century discouraged their re-proposal for many decades [1].

Currently, many findings during restoration works have made necessary a close study and an accurate assessment of the whole constructive system, in this paper we analyse the peculiarities of technical solutions and the original elements of the Sicilian structures. Almost totally ignored by the official technical culture, thin brick vaults actually are mostly demolished or transformed in decorative ceilings. Therefore, we intend to document the possibility to maintain and reconstruct these vaults even with their structural function, instead of tearing them down. The detailed and comparative knowledge of many cases encouraged also by building continuity in other Mediterranean countries and in the Americas, but also the partial and total reconstructions that have occurred in recent years, allow to properly assessing potentialities and limitations, the real possibility or opportunity for their maintenance, rehabilitation or re-proposal, even preserving the structural function.

## 2. STATE OF ART. A LITTLE KNOWN CONSTRUCTION TECHNIQUE

There is an ongoing trend started a few decades ago, which is the rediscovery of obsolete construction systems that had been discarded for a long time, as they were considered old and risky. However, if we set aside any prejudice and investigate the technological features and the constructive rationale, even with respect to the surprising good current use conditions, despite the lack of care and maintenance, we are forced not to judge them, but rather to deepen our knowledge.

The vaults made of multi-layers of thin tiles represent a significant example. New light has been shed on them following the studies of many scholars who described the most important steps [2, 3, 4, 5, 6], the reference texts dating back to the construction time, the monumental structures being realised and their dissemination in the western world. To confirm and update what already published, we deem it useful to get to know how these construction systems spread locally, with variants and/or adjustments made to meet specific needs. It was a poor and skilful technique at the same time: intended to be economical, it also confirmed the ability to foresee and interpret the behaviour of unconventional structures.

### 1. INTRODUZIONE

*Tra le tante tipologie di volte riscontrate sul territorio siciliano finalizzate a coniugare economia e leggerezza senza perdere in sicurezza, vengono in questo studio analizzate quelle costituite da due, tre o quattro fogli di mattoni sottili uniti con gesso (volte realine secondo la definizione locale). Non si hanno notizie certe sull'origine di queste volte che, probabilmente introdotte dall'area iberica in Sicilia nella prima metà del XVIII secolo, evidenziano come un sistema costruttivo importato da aree geografiche spesso molto distanti possa essere reinterpretato in funzione dei materiali disponibili e della cultura edilizia locale.*

*Ciò ha in più occasioni determinato soluzioni originali ed ingegnose, esiti del confronto con condizioni geografiche e ambientali peculiari, non ultima la considerazione della sismicità dei luoghi. Non a caso le prime realizzazioni nella Sicilia occidentale, ed in particolare a Palermo, di volte realine risalirebbero al periodo immediatamente successivo ai terremoti del 1726 e del 1751: queste strutture erano infatti considerate - per la leggerezza e per la presunta monoliticità, che avrebbe dovuto ridurre le spinte sulla muratura perimetrale - soluzioni ideali (rispetto alle volte "reali") in caso di terremoti. Paradossalmente, fu probabilmente il crollo di alcune di queste volte sottili durante gli eventi sismici che si verificarono nel XIX secolo, ne scoraggiò la riproposizione decretandone la scomparsa per alcuni decenni [1].*

*Attualmente, i sorprendenti e numerosi riscontri avuti in occasione di lavori di indagine e di restauro in edifici storici siciliani hanno reso indispensabile uno studio approfondito, di cui questo report costituisce un breve resoconto, ed una valutazione del sistema costruttivo che hanno evidenziato alcuni elementi di originalità nelle realizzazioni dell'isola. Quasi del tutto ignorate dalla cultura tecnica ufficiale storica ed attuale, sia in ambito locale che italiano, in molti casi le volte sottili in mattoni sono state demolite o trasformate in soffitti decorativi prescindendo dalla loro originaria funzione portante. La conoscenza puntuale e comparativa dei tanti casi ritrovati, confortata anche dalla continuità costruttiva in altri Paesi mediterranei e nelle Americhe, ma anche le ricostruzioni parziali e totali già avvenute in questi anni, sono tutti fatti che consentono di valutarne correttamente le potenzialità ed i limiti, l'effettiva possibilità o l'opportunità del mantenimento, della riabilitazione o della riproposizione, anche con funzione strutturale.*

### 2. LO STATO DELL'ARTE. UNA TECNICA COSTRUTTIVA POCO CONOSCIUTA

*Da alcuni decenni, si assiste alla riscoperta di sistemi costruttivi obsoleti, per lungo tempo abbandonati perché considerati non più attuali ed a forte rischio.*

*Analizzandone senza pregiudizi i caratteri tecnologici e la stessa ratio costruttiva, anche in relazione alle sorprendenti condizioni d'uso attuali malgrado l'assenza di cure e*

Our research shows that ‘realine’ vaults were much more present in western Sicily, and they could indeed bear considerable loads.

However, it also emerged that they are completely neglected by current technical regulations, and this legal vacuum makes it impossible to perform calculations and static controls. Rather than demolishing and replacing them by safer structures, any curious researcher would go into more of it, asking colleagues and technical operators for information and confirmations and analysing and checking directly the works and the existing documents.

We would look for descriptions and recent in-depth works about other areas, and from them we would go back to the extensive literature: only to mention the most known, we would list the Treaty published in 1639 by Fray Lorenzo de San Nicolas, those ones of Félix-François d’Espie (1754) [7], Blondel (1770) [8] and Rondelet [9], (Figure 1) the Italian nineteenth century manuals, the construction documents of important buildings, until we arrive to the early twentieth century price lists of Palermo. In the same period the American experiences of Guastavino, supported by analytical studies and laboratory tests have allowed the diffusion and transfer of this construction system, also in combination with the steel structures, from residential building types to the most demanding industrial complexes [10, 11].

In this vast bibliographical and documentary acknowledgment, also a wide geographical spread correspond, which is confirmed by the curious and terminology cross-references: Blondel wrote about the Italian origin of the best tiled vaults builders; the French architect L. Dufourny and G.V. Marvuglia, a well-known Sicilian architect of the eighteenth century, referring to the tiled vaults realized in Palermo, called them as “French”, while in Naples the same vaults were called as “Sicilian”; referring to other Panormitan examples the vaults are defined as “realine” or sometimes “Catalan”. Certainly, the Sicilian realizations have a credible historical and temporal reference in the bóvedas tabicadas of Catalonia, where they will assume with their free and organic forms an extremely important role for the whole modernist movement. In the works of Domenech y Montaner and Gaudi, the sinuous forms of tabicadi shells will create an unprecedented and amazing integration between material, structure and shape. In confirmation of this, recent studies have shown that Catalans “vaulted masters” were operating certainly in the first half of the eighteenth century in the Palermo area.

In the light of what is already known and has been written on the same topic for other geographical areas [12, 13, 14, 15] – and that we intend to refer to, especially with respect to the guidelines that clarify in detail the problems, solutions, technical and economic reasons, risks and advantages – this short

*manutenzione, si è quasi costretti a sospendere ogni giudizio in attesa di approfondirne la conoscenza.*

*Esempio emblematico è costituito proprio dalle volte in mattoni sottili a più fogli, uscite da un lungo oblio grazie ad una folta schiera di studiosi [2, 3, 4, 5, 6] che ne hanno delineato le tappe principali, i testi d’epoca di riferimento, le realizzazioni a carattere monumentale, la diffusione nel mondo occidentale. A conferma ed in aggiunta a quanto già pubblicato, riteniamo che possa essere assai utile attestare la presenza di questi sistemi costruttivi nei diversi ambiti locali, caratterizzati da varianti e/o adattamenti suggeriti da esigenze specifiche. Si trattava comunque di tecnica povera e colta nello stesso tempo: povera perché veniva incontro ad esigenze di economia, colta per la capacità di intuire ed interpretare il comportamento di strutture non certo convenzionali.*

*La nostra ricerca mostra le volte “realine” presenti più di quanto ci si aspettasse nella Sicilia occidentale, capaci di portare carichi notevoli ma, al contempo, ci mette in guardia sul fatto che esse siano del tutto assenti nelle norme tecniche attuali: ciò determina un vuoto normativo che non ne consente il calcolo e la verifica statica.*

*Piuttosto che proseguire con la pratica della demolizione e sostituzione con strutture più rassicuranti, il ricercatore curioso si spinge un po’ più a fondo, chiede notizie e conferme a colleghi ed operatori tecnici, analizza e verifica direttamente sui manufatti e sulle carte. Ritrova descrizioni ed approfondimenti recenti per aree diverse da quella in cui opera e da questi risale alla vasta letteratura: il trattato del 1639 di Fray Lorenzo de San Nicolas, l’opera di Félix-François d’Espie [7], di Blondel [8] e di Rondelet [9], (Figura 1) i manuali italiani dell’Ottocento, i documenti di cantiere di importanti edifici, fino ad arrivare ai prezziari palermitani dei primi anni del XX secolo.*

*Si arriva ai primi del Novecento, quando le esperienze dell’architetto valenciano Raphael Guastavino-Moreno, presso il Department of Tests and Experiments of the Fairbank’s Staircases Company a New York, diffusero questo sistema costruttivo, sino ad allora consueto nell’edilizia residenziale, anche agli edifici industriali, combinandolo talvolta anche con le strutture in acciaio [10, 11].*

*A questo vasto riscontro bibliografico e documentale corrisponde anche un’ampia diffusione geografica che trova conferma in curiosi riferimenti e rimandi terminologici: Blondel scriveva della provenienza italiana dei migliori costruttori di volte in foglio; l’architetto francese L. Dufourny e G.V. Marvuglia, noto architetto siciliano del XVIII secolo, riferendosi alle volte che si realizzavano a Palermo, le definivano “alla francese”, mentre a Napoli erano chiamate “alla siciliana”; in altri esempi palermitani sono definite “realine” o “volte alla catalana”. Certamente le realizzazioni siciliane hanno un riferimento storico e temporale verosimile nelle bóvedas tabicadas della Catalogna, dove assumeranno con le loro forme libere ed organiche un ruolo estremamente*

essay is aimed at adding information and reflections on findings, peculiarities, construction experiences and methods of intervention.

*importante per tutto il movimento modernista. Nelle opere di Domènech y Montaner e Gaudì le forme*

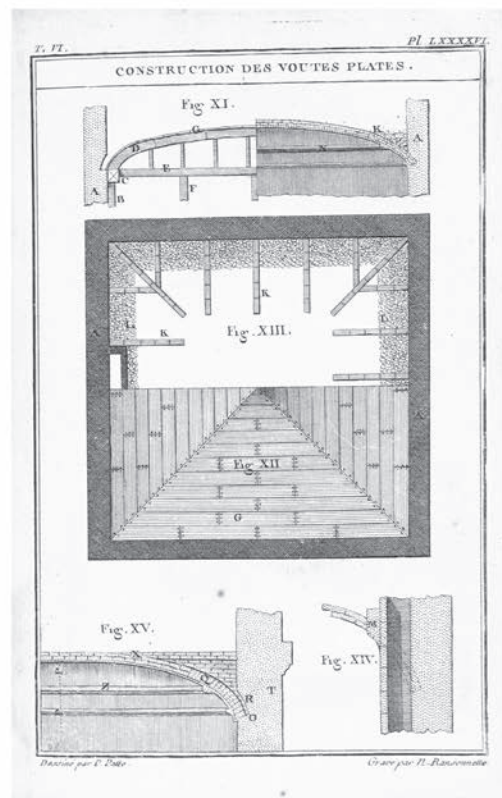
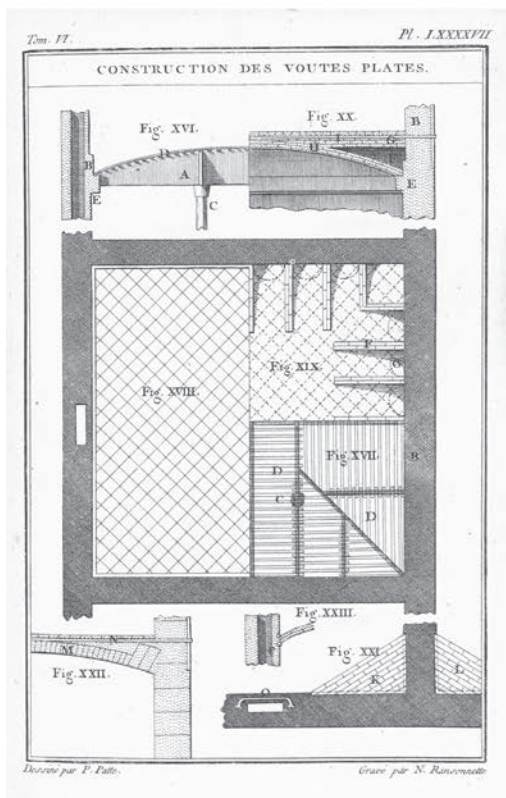
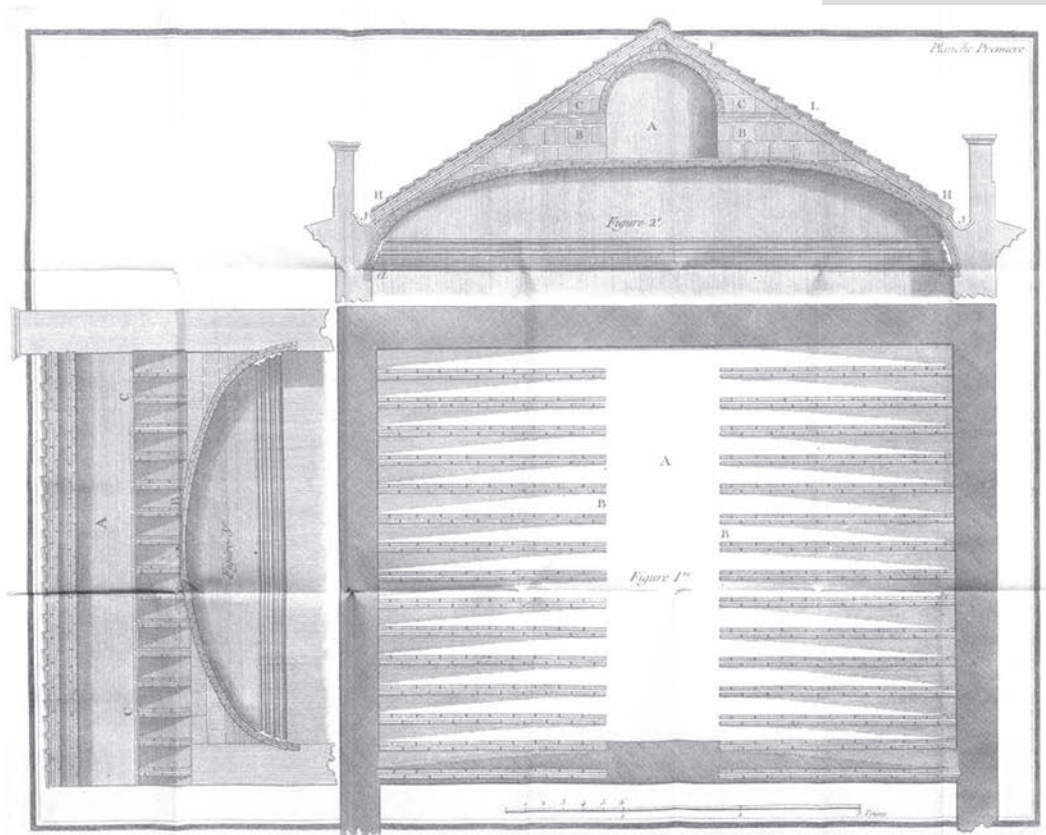


Figure 1. (at the top) Comte D'Espie's "fireproof roof": flat vault made with three layers of tiles, close-range tiled buttresses supporting the roof structure, also made with multi-layer tiles. (at the bottom) Thin tiled multi-layer vaults (Blondel-Patte).

### 3. “REALINE” VAULTS RESTORATION. FROM KNOWLEDGE TO INTERVENTION

Until the recent past, the limited confidence towards the potential and structural adequacy of many little-known construction solutions, has led to less respectful and infrequently damaging actions. In some cases, the lucky ones, already the maintaining of the historical building element, even if surrogate in its structural function, has been considered as a good compromise, compared to a more simple demolition. However, in the recent years, we are comforted by a new performance-regulatory approach, that directs the interventions on historic buildings. It is oriented towards the safeguard and the respect not only of image and material characters, but also of the structural design and building concept; the technical culture has begun to operate preserving the original static system and, where necessary, also structurally supplementing and improving it. This is an approach, which obviously presupposes a thorough knowledge of the traditional building and its construction history, along with a mechanical characterization, often timely, scientifically and economically demanding. In this optic, tiled vaults are an emblematic example, spread in Western Sicily more than we might expect; this kind of vaulted system is currently neglected by both treatises and specific rules and legislations, compared to a wide literature produced as early as the seventeenth century.

Looking at a so relevant history, only recently and essentially basing on an academic aspect, specific studies have developed, contributing to the spread of knowledge and to the understanding of the static-constructive ratio. Therefore, it was possible that designers and operators, comforted by concrete experiences, they have chosen to maintain, retrieve, integrate - where this approach seems appropriate - or consolidate tiled vaults and, in some cases, completely rebuild these structures [16, 17, 18, 19].

In the Western Sicily, for almost two centuries and on an alternate luck, tiled vaults have been considered as an efficient technical alternative to stony real vaults of monumental architecture, as well as economic solutions for the most common realizations. Although the memory of this building technique has been lost, the numerous findings in restoration building yards testify its use until the second decade of the twentieth century, both in new construction and in the re-arrangement of existing buildings. A detailed research was the basis of our study, arrived in its final phase, which helped to identify in Western Sicily a typological and temporally significant record.

An invariant aspect is the size of the basic constructive elements, the overlapping-layers thin tiles, used for partition walls as well as for the

*sinuose dei gusci tabicadi creeranno un'inedita e sorprendente integrazione tra materia, struttura e forma. A conferma di quanto detto, recenti studi hanno dimostrato che “maestri dammusari” catalani operavano certamente nella prima metà del XVIII secolo in area palermitana. Alla luce di quanto già conosciuto ed ampiamente trattato sull'argomento anche per altri ambiti geografici [12, 13, 14, 15], di cui si intendono richiamate le linee generali che chiariscono nel dettaglio problemi, soluzioni, motivazioni tecniche ed economiche, rischi e vantaggi, questo breve saggio intende aggiungere informazioni e considerazioni su ritrovamenti, specificità, esperienze costruttive e modi di intervento.*

#### 3. IL RECUPERO DELLE VOLTE “REALINE”. DALL'ANALISI ALL'INTERVENTO

*Fino ad un recente passato, la limitata fiducia nei confronti delle potenzialità e dell'adeguatezza strutturale di molte soluzioni costruttive poco conosciute, ha condotto ad interventi poco rispettosi e non di rado dannosi. In alcuni casi, i più fortunati, già il mantenimento dell'elemento costruttivo storico, seppur surrogato nella funzione strutturale, è stato considerato un ottimo compromesso rispetto ad una meno problematica demolizione. Negli ultimi anni tuttavia, confortati da un nuovo approccio normativo di tipo prestazionale che regola anche gli interventi su edifici storici ed è orientato verso la tutela e il rispetto non solo dell'immagine e della materia ma anche della concezione strutturale e della cultura costruttiva, si è cominciato ad operare preservando l'originario sistema statico e, dove necessario, integrandolo e migliorandolo strutturalmente. Questo è un approccio che presuppone una conoscenza approfondita della fabbrica e della sua storia costruttiva, insieme ad una caratterizzazione meccanica, spesso puntuale, scientificamente ed economicamente impegnativa. In tal senso un esempio emblematico è proprio quello delle volte in mattoni sottili a più strati che, assai diffuse in Sicilia occidentale, sono attualmente trascurate sia dalla trattatistica, che da norme e regolamentazioni specifiche, a fronte di un'ampia letteratura prodotta già a partire dal XVII secolo. Infatti, rispetto ad una storia così rilevante, solo di recente ed essenzialmente a livello accademico si sono sviluppati studi specifici che hanno contribuito alla diffusione della conoscenza ed alla comprensione statico-costruttiva. Così è stato possibile che progettisti ed operatori, confortati da esperienze concrete, abbiano potuto scegliere di mantenere, recuperare, integrare dove necessario, consolidare e in alcuni casi ricostruire interamente queste strutture voltate [16, 17, 18, 19]. Nella Sicilia occidentale per quasi due secoli, e con fortuna alterna, le volte in foglio sono state considerate come un'alternativa tecnica valida alle volte reali in lapidei naturali nelle architetture monumentali, oltre che soluzioni economiche adatte alle realizzazioni più modeste. Nonostante si sia persa la memoria di questa tecnica costruttiva, i numerosi*

construction of vaults, presenting variable overlapping-layers, in relation to the function that vaults has to be (only 2 layers for ceilings, 3-4 layers for the bearing vaults), linked exclusively with gypsum mortar until the end of the nineteenth century.

The geometrical variations were often related to the mutability of the architectural language or practical requirements (as the rise of vault, the size of rooms, the number and morphology of supporting structures), while finishing elements (abutments, fill materials, transversal and diagonal ribs, stiffening arches, thin buttresses, longitudinal or lunette counter-vaults), placed at the extrados of vault and therefore not visible and inspected (if not subsequently a partial demolition), represent a rich catalogue, able to represent both the consolidated constructive practices, which variants and the structural interpretations, but generally also the confidence given by the coeval builders. As a result of the unexpected and widespread diffusion, both from the temporal point of view and the variety of building types in which we found these tiled vaults (noble palaces as well as basic buildings, churches or agricultural warehouses) a structural and typological analysis has been effected, concerning what until now had seemed only a sporadic presence in the history of the Sicilian construction, wrongly limited above all to the self-supporting ceilings.

The study has been conducted primarily through a typological classification of construction solutions, continuing with the analysis of the studies, tests, diagnosis, structural modelling and experiences carried out both locally and nationally. In parallel, an evaluation of degradation and recurrent instability has been carrying out on the structures that we have analysed, supplemented by information derived from technical reports of past damages, occurring during earthquakes or other causes.

The realized methods of intervention are finally analysed, relating them to different functions or construction characteristics.

As regards the classification of constructive solutions, we have considered that the interventions of consolidation/structural improvement and recovery cannot of course exclude the restrictions imposed by the presence of eventual decorations at the intrados and of possible and structural elements at the extrados (Figure 2). We would examine as an example the unload counter-vaults making not directly accessible the extrados of the main tiled vault, on which usually the intervention is made. In this phase, the research has been also conducted on literature, bibliographic sources and archival documents, which often led to a correct interpretation of study-cases, by chance discovered during restoration building yards.

*riscontri nei cantieri di restauro testimoniano il suo utilizzo fino al secondo decennio del XX secolo, sia nelle nuove realizzazioni che nelle riconfigurazioni di edifici esistenti. Una capillare ricerca è stata la base di uno studio, in fase di conclusione, che ha consentito di individuare in Sicilia occidentale una casistica tipologicamente e temporalmente significativa.*

*Un aspetto invariante è costituito dalle dimensioni degli elementi costruttivi di base, i mattoni sottili disposti a più fogli, utilizzati per tramezzi oltre che per la realizzazione di strutture voltate, dal numero di strati variabile in rapporto alla funzione (due per i soffitti, tre-quattro per le volte portanti), legati esclusivamente con gesso fino alla fine del XIX secolo. Le varianti geometriche erano spesso correlate alla mutabilità del linguaggio architettonico o ad esigenze di tipo pratico (monta della volta, dimensioni dei locali, numero e morfologia degli appoggi), mentre gli elementi di completamento (rinfiocchi, riempimenti, nervature trasversali e diagonali, archi di irrigidimento/rotoli, frenelli, controvolte/porcelle a lunette o longitudinali), posti all'estradosso e pertanto non visibili e ispezionabili se non a seguito di parziali demolizioni, rappresentano una ricca casistica in grado di rappresentare sia le prassi costruttive consolidate, che le varianti e le interpretazioni strutturali, ma in generale anche la fiducia attribuita dai costruttori del tempo. Alla luce dell'inaspettata ed ampia diffusione, sia dal punto di vista temporale che dalla varietà delle tipologie edilizie nelle quali si è ritrovata la presenza delle volte in foglio, dai palazzi nobiliari all'edilizia corrente, da volte delle chiese maggiori ai magazzini agricoli, ha suggerito un'analisi tipologica e strutturale più approfondita su quella che fino adesso era sembrata una presenza episodica nella storia della costruzione siciliana, ritenuto che fosse limitata soprattutto ai soffitti autoportanti.*

*Lo studio è stato condotto in primo luogo attraverso una classificazione tipologica delle soluzioni costruttive, proseguendo con l'analisi degli studi, prove, diagnosi, modellazioni strutturali ed esperienze svolti sia localmente che in ambito nazionale. In parallelo si è andata effettuando una valutazione dei degni e dei dissesti ricorrenti sulle strutture che ci sono pervenute, integrata da informazioni desunte da relazioni tecniche redatte nel passato su danni occorsi in occasione di eventi sismici o altre cause. Si sono infine analizzate le modalità di intervento poste in atto, in relazione alle diverse destinazioni o caratteristiche costruttive. Per quanto attiene alla classificazione delle soluzioni costruttive, si è tenuto conto del fatto che gli interventi di consolidamento/miglioramento strutturale e le tecniche di recupero non possono ovviamente prescindere dai vincoli imposti dalla eventuale presenza di decori all'intradosso e di elementi strutturali accessori all'estradosso (Figura 2). Si portano come esempio le controvolte di alleggerimento che non rendono direttamente accessibile l'estradosso della volta principale sul quale in genere si opera. In questa*

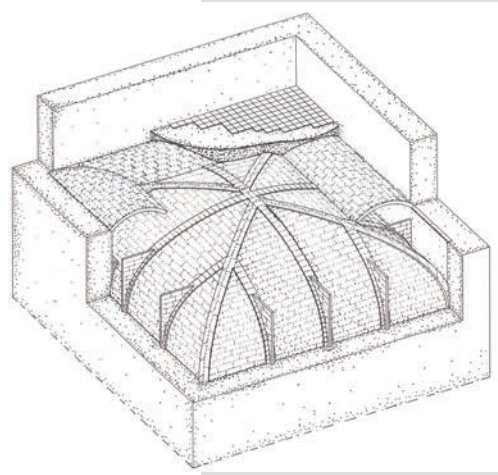


Figure 2. (left) Detail photos of the top portion of a tiled vault, with lightening counter-vaults, buttresses, longitudinal and diagonal strips. (right) Axonometric drawing of the top portion of a tiled vault.

In order to evaluate the structural behaviour and also mechanically characterize the materials, we have referred to the recent literature, reporting the results of load tests, laboratory analysis of samples derived from collapses or specially reproduced, visual or endoscopic inspections. The results of the load tests effected in situ often have shown that the not damaged tiled vaults resist adequately to ordinary loads.

Another investigated aspect was that regarding the identification of degradation and recurrent instabilities.

The earthquake and the deterioration of the gypsum mortar (basically due to contact with water) are always, even concurrently, the principal causes of collapse, as attested by the chronicles of the past. It is by now clear and it had been properly understood by the builders of the past, the poor earthquake-resistance due to less capacity of thin vault to constitute a rigid diaphragm in its plane.

Another recurrent cause of instability is constituted by variations of the geometry of supporting perimeter, even in small sizes, due to differential rotations or collapses to which the tiled vaults, being monolithic and thin elements, are not able to adapt themselves, unlike the traditional vaults realized using stone ashlars. Finally, as for the latter ones, it is demonstrated that the tiled vaults have a limited capacity of resistance, respect to concentrated or asymmetrical loads.

The results of investigation and the correct interpretation of collapse types are comforted by the structural modelling, conducted in academia or during the recovery interventions, confirming that the presence of extrados ribs, buttresses and counter-vaults greatly contribute to the stability of tiled vaults. Particularly, the extrados buttresses stiffen the shell, just in the areas where

*fase la ricerca è stata condotta anche su materiale bibliografico, documentale e archivistico, che più volte ha consentito una corretta interpretazione dei casi fortuitamente scoperti in occasione di cantieri di restauro.*

*Al fine di valutare il comportamento strutturale e caratterizzare anche meccanicamente i materiali, ci si è riferito alla recente letteratura che riporta i risultati di prove di carico, analisi di laboratorio su campioni provenienti da crolli o appositamente riprodotti, ispezioni visive o endoscopiche. I risultati delle prove di carico in situ hanno spesso dimostrato che le volte non dissestate resistono adeguatamente ai carichi ordinari.*

*Un altro aspetto indagato è stato quello dell'individuazione dei degradi e dei dissesti ricorrenti. Il sisma e il deterioramento della malta a base di gesso (dovuto fondamentalmente al contatto con acqua) sono sempre, anche in concomitanza, le prime cause di crolli, così come attestato anche dalle cronache del passato. È oramai evidente, ed era stato correttamente intuito dai costruttori del passato, la scarsa sismoresistenza dovuta alla mancata capacità dell'orizzontamento voltato sottile a costituire un diaframma rigido nel proprio piano. Altra causa ricorrente di dissesto è costituita dalle variazioni della geometria del perimetro di imposta, anche di piccola entità, dovute a rotazioni o a cedimenti differenziali ai quali le volte in foglio, in quanto elementi monolitici e sottili, non sono in grado di adattarsi, a differenza delle volte tradizionali in conci. Infine, come per queste ultime, è dimostrata per le volte realine una limitata capacità di resistenza rispetto ai carichi concentrati o asimmetrici. I risultati delle indagini e la corretta interpretazione delle tipologie di dissesto sono confortati dalle modellazioni strutturali, condotte in ambito accademico o in occasione di interventi di recupero, che confermano come la presenza delle nervature estradossali, dei frenelli e delle controvolte contribuisca notevolmente alla stabilità delle volte sottili. I frenelli in particolare irrigidiscono il guscio proprio nelle*

the greatest traction stresses have manifested, ensuring a crushproof stability of geometry. Also the counter-vaults, being significantly diminished and particularly those longitudinal of the pavilion vaults, they were located close and with their axis parallel to the perimeter of the room; these counter vaults, besides alleviating the overlying portion of the vault, they have the important function to directly download on the perimeter walls the half of accidental load resting on them, and doing that the remaining part of the load will be more evenly distributed on a portion close to the axis of the main tiled vault. This one will constitute a considerable advantage, if we have to consider the low resistance of tiled vaults to concentrated or asymmetrical loads.

Finally, we have considered the different cases of interventions on tiled vaults described in the literature and those recently made in the Sicilian area, in order to identify those, which can be considered as good practices, relating to local specificities. When excesses of carefulness do not prevail, that until the recent past have led to the demolition of these vaults, a frequent practice is the subrogation of their load-bearing function, leaving this function to a new technical element. The realization of a new floor unload the tiled vault that takes the simple ceiling function. According to the prevailing viewpoint, the eventual elimination of abutments, counter-vaults and filling materials, which they usually accompany this intervention, could destabilize the structure, occurring horizontal actions. A deeper knowledge and understanding of the construction system and its structural functioning has brought in recent years to the proposals and interventions that we believe can be considered as “good practices”.

For tiled vaults having a simple cap, therefore without extrados asperities, such thin buttresses and counter-vaults and presenting cracks without excessive dislocations, it's enough the sealing of cracks with an expansive mortars: to ensure a continuity and the maintenance of a monolithic shell, often it's better to proceed to encasing the extrados of vault using fibres, with bands or in a continuous way, and subsequently to fill the extrados with a lightweight concrete, to guarantee the foot traffic. In all those cases in which is a decorative apparatus, it's generally preferred to intervene on the extrados in a discontinuous way, so as to ensure a greater permeability to vapour of vault and to prevent damage of moisture, occurring with a greater probability below a continuous cladding.

Relative to the same type of instability, recent studies have evaluated the convenience of a more compatible intervention from the point of view of the employed material, which even if significantly weighs the structure, however certainly appear simpler for a discontinuous extrados. After the filling of

*porzioni in cui si manifesterebbero le maggiori tensioni di trazione, garantendo l'indefornabilità della geometria. Anche le controvolte, notevolmente ribassate ed in particolare quelle longitudinali delle volte a padiglione, disposte in adiacenza e con asse parallelo al perimetro del vano, oltre ad alleggerire la porzione sovrastante la volta, svolgono l'importante funzione di scaricare direttamente sui muri perimetrali metà del carico accidentale che vi grava sopra e fanno in modo che la restante parte venga distribuita in modo più uniforme su una porzione prossima all'asse della volta principale. Vantaggio notevole quest'ultimo se si tiene conto della limitata resistenza ai carichi concentrati o asimmetrici delle volte sottili.*

*Si sono presi infine in considerazione i diversi casi di interventi su volte in foglio descritti in letteratura e quelli recentemente realizzati in area siciliana, al fine di individuare quelle che possono essere considerate buone pratiche anche in relazione alle specificità locali. Quando non prevalgono gli eccessi di prudenza, che hanno condotto fino ad un recente passato alla demolizione, una pratica frequente prevede la surrogazione della funzione portante, demandando quest'ultima ad un nuovo elemento tecnico. La realizzazione di un nuovo solaio scarica la volta che assume la semplice funzione di soffitto. Secondo l'opinione prevalente, l'eventuale eliminazione di rinfianchi, controvolte e riempimento, che in genere si accompagna a questo intervento, potrebbe rendere instabile la struttura in caso di azioni orizzontali. Una più approfondita conoscenza e comprensione del sistema costruttivo e del suo funzionamento strutturale ha condotto negli ultimi anni a proposte e interventi che a nostro avviso possono essere considerate “buone pratiche”. Per le volte a calotta semplice prive di asperità estradosali, quali frenelli e controvolte, che presentano quadri fessurativi senza eccessive dislocazioni, ci si può limitare alla stuccatura delle lesioni con malte espansive: per garantire la continuità e mantenere la monoliticità del guscio si procede spesso anche alla foderatura all'estradosso con fibre, per fasce o in modo continuo, ed al successivo riempimento con calcestruzzo alleggerito per mantenerne la calpestabilità. In tutti quei casi in cui la presenza di un apparato decorativo di pregio lo richiede, si preferisce in genere intervenire sull'estradosso in modo discontinuo così da garantire una maggiore permeabilità della struttura voltata ed evitare possibili danni da umidità che possono verificarsi con maggiore probabilità al di sotto di una cappa continua. Relativamente allo stesso tipo di dissesto, recenti studi hanno valutato l'opportunità di un intervento maggiormente compatibile dal punto di vista materico, che da un lato appesantisce sensibilmente la struttura, dall'altro è certamente più semplice nei casi di estradosso discontinuo.*

*Dopo aver proceduto alla stuccatura delle lesioni con gesso, si sovrappone all'estradosso un doppio strato di mattoni sottili, curando la perfetta adesione con gli*



cracks using a gypsum mortar, a double layer of thin bricks has put on the top, curing the perfect adhesion to the underlying layers. Tests carried out, after the intervention in a cross-tiled vault, attest an increase of strength and rigidity of the system. For partial collapses, the intervention can adequately reintegrate and rebuild on a wooden formwork, according to the criteria of material homogeneity and being careful to arrange the tiles correctly, following the original arrangement and starting from the lower layer (Figure 3).



Figure 3. Reconstruction of a small portion of a broken down tiled vault.

This practice is in fact feasible, in occasion of extended collapses, thanks to the possibility of recreating the continuity also at the extrados through the covering with GFRP (preferred to carbon fibres, if are not required high mechanical performances). The presence of counter-vaults not allow a coating of the main cap, so that it has been proposed a system which partly overcomes the problems caused by the already obsolete and dangerous interventions of reinforced-concrete covering, putting at risk the vault stability, especially for chemical and stiffness incompatibility. Through the interposition of a soft and deformable layer, the tiled vault indeed bears the permanent loads as the weight of the lightweight covering of steel reinforced concrete and also its own weight, while the accidental loads are transferred directly from this covering to the perimeter walls. The deformation of the covering, due to accidental loads, are -in fact- balanced by the deformation of the interposed layer, and only partially transferred to tiled vault. The intervention is particularly economical and easy to perform, if it is compared to the more expensive systems that use fibres. It has also overcome the perfect adherence of fibres to the extrados surface. Many and very interesting are the total reconstructions of realine vaults, effected both simply recovering the traditional system, and - in a precautionary manner, but much more expensive- interposing composite materials between the layers of thin tiles (generally a mesh of glass fibre, immersed in matrix of hydraulic mortar); this method can greatly improve the

strati sottostanti. Prove effettuate a seguito dell'intervento su una volta a crociera attestano un incremento della resistenza e della rigidità del sistema. Nel caso di crolli parziali l'intervento può opportunamente prevedere di reintegrare e ricostruire in omogeneità materica, su cassaforma lignea e avendo cura di disporre correttamente i mattoni, seguendo l'apparecchio originario ad iniziare dallo strato inferiore (Figura 3).

Questa pratica è infatti perseguibile, nel caso di crolli estesi, grazie alla

possibilità di ricreare la continuità anche all'estradosso attraverso la foderatura con GFRP (preferite alle fibre di carbonio quando non sono richieste le elevate prestazioni meccaniche di queste ultime). Nel caso di presenza di controvolte, che non consentono un rivestimento della calotta principale, è stato proposto un sistema che in parte supera i problemi causati dagli ormai obsoleti e dannosi interventi di cappatura in cls armato, che mettevano a rischio la stabilità soprattutto per incompatibilità chimica e di rigidità. Attraverso l'interposizione di uno strato soffice e deformabile, la volta porta effettivamente i carichi permanenti costituiti dal peso della cappa armata in cls alleggerito e dal peso proprio, mentre i carichi accidentali sono trasferiti direttamente dalla cappa ai muri perimetrali. Le deformazioni di quest'ultima dovute ai carichi accidentali sono infatti compensate dalla deformazione dello strato interposto che vengono così solo parzialmente impresse alla volta in mattoni. L'intervento risulta particolarmente economico e di facile esecuzione se confrontato con i più dispendiosi sistemi che prevedono l'utilizzo di fibre; risulta inoltre superato il problema della perfetta aderenza delle fibre alla superficie di estradosso. Sono numerosi e di notevole interesse anche i casi di ricostruzione totale di volte realine, sia riprendendo semplicemente il sistema tradizionale, sia in maniera cautelativa ma assai più costosa, interponendo tra gli strati di mattoni sottili materiali compositi (generalmente rete in fibra di vetro immersa in una matrice di malta idraulica) in grado di migliorare notevolmente la resistenza a trazione

traction strength of the most stressed portions. As regard the first system, two different constructive experiences, made or carried out in likewise restoration sites of monumental buildings in Palermo, allowed to experience how the reconstruction can be considered a practicable way, also when great collapses happen (Figure 4). During the works of transformation, occurred between 1894 and 1905, we can ascribe the reconstruction of some realine vaults inside a convent, in order to realize a vaulting system between the ground floor and the first floor. We talk about a double series of five tiled cross vaults having three layers of thin tiles, called pantofali (23\*11.5\*2,2cm), supported by four pillars of pantofaloni brick (26\*13\*6 cm). The lightening was made through four little tiled hemispherical domes, having only two layers of tiles, placed at junctions with the pillars. A filler of untied material, it determines the horizontality of the extrados, without overloading the structures. The stability of the same structure is guaranteed by the long-term use of the room over-heading the tiled vault, as a gym, and the absence of earthquake cracks. The restoration design has proposed the re-proposal of the tiled vaults, collapsed after the bombing of 1943, using the original technique. The reconstruction has started after a series of tests, done on some example of re-built tiled vaults, so that the workers could understand how verbal descriptions and technical drawings not explain. Wooden ribs, placed at the diagonals of the tiled cross vaults and at the intersection lines, had supported a continuous plank surface, on which the first layer of thin tiles was laid. Above the plank surface, a scaffolding system would allow the workers to operate from above, without adding its own weight on the wooden ribs, also preventing distortion and vibration that could compromise the construction result. The laying geometry was conducted according to literature descriptions and in agreement with the characteristics of existing adjacent tiled vaults. The bricks are placed with the longer side located along the generative line of the tiled vault, until the intersection where they are cut at 45°, allowing so the determination of the intersection, and the individual lines of thin tiles are offset by an half. The first layer of tiles was placed dry, and then it was covered with a mixture of gypsum and water, in order to saturate the joints between the same tiles. The next layer was placed with joints staggered of a half tile. Load testing confirmed the homogeneity of mechanical behaviour with existing structures already under analysis. Another example is that of the reconstruction of tiled vaults at the mezzanine floor, made in a noble palace with the realina technique in the fifties of the nineteenth century: in an existing building a vaulted system was inserted, not determining the need to change the oldest structures and involving an negligible loads increase due to an own weight. The tiled vaults were

*delle parti maggiormente sollecitate. Riguardo al primo sistema, diverse esperienze, condotte in cantieri di restauro di edifici monumentali palermitani, hanno permesso di sperimentare quanto la ricostruzione possa essere considerata una strada percorribile anche nel caso di crolli assai vasti (Figura 4). Ai lavori di trasformazione, avvenuti tra il 1894 ed il 1905 è da ascrivere la ricostruzione di alcune volte realine all'interno di un convento per realizzare l'orizzontamento tra il piano terra ed il piano primo. Si tratta di una doppia serie di cinque volte a crociera a tre strati di mattoni pantofali (cm 23 x 11,5 x 2,2) sorrette da quattro pilastri in mattoni pantofaloni (cm 26 x 13 x 6). L'alleggerimento venne realizzato mediante quattro cupolette realine semisferiche a due fogli poste in corrispondenza dei raccordi con i pilastri. Un riempimento in materiale sciolto, determina l'orizzontalità dell'estradosso, senza sovraccaricare le strutture. La stabilità della struttura è garantita dal prolungato uso che venne fatto come palestra del vano sovrastante le volte e dall'assenza di un quadro fessurativo riferibile al recente sisma. Il progetto di restauro ha proposto il ripristino delle volte crollate a seguito dei bombardamenti del 1943, utilizzando la tecnica originaria. La ricostruzione è stata avviata dopo una serie di prove su alcune volte-campione costruite a piè d'opera per consentire alle maestranze di comprendere quanto descrizioni e disegni tecnici non riuscivano a rappresentare. Centine lignee poste in corrispondenza delle diagonali delle crociere e delle linee di intersezione reggevano un tavolato continuo su cui è stato posato il primo strato di mattoni. Al disopra del tavolato di centinatura, si è predisposto un sistema di ponteggi che consentisse alle maestranze di operare dall'alto senza gravare con il proprio peso sulle centine ed evitare deformazioni e vibrazioni che potevano compromettere il risultato. La geometria di posa è stata condotta secondo le descrizioni di letteratura e in accordo con le caratteristiche delle limitrofe volte esistenti. I mattoni sono collocati con il lato maggiore lungo la generatrice della volta, sino all'intersezione dove sono tagliati a 45° per consentire la determinazione della intersezione; le singole file di mattoni sono sfalsate di metà. Il primo strato di mattoni è stato posto a secco, e successivamente ricoperto con una miscela di gesso ed acqua a consistenza plastica in modo da saturare bene i giunti tra i mattoni stessi. Lo strato successivo è stato posto a giunti sfalsati di mezzo mattone. Le prove di carico, eseguite dopo due mesi, hanno confermato l'omogeneità di comportamento meccanico con strutture esistenti già oggetto di indagine. Un altro caso esemplare è quello della ricostruzione delle volte dell'ammezzato realizzato con la tecnica realina negli anni cinquanta del XIX secolo in un palazzo nobiliare: in un edificio esistente si era inserito un sistema voltato veloce da realizzare che non determinava necessità di modificare le strutture più antiche e che comportava un incremento dei carichi per peso proprio trascurabile. Le volte erano crollate a seguito delle infiltrazioni*

collapsed because of water infiltration, coming from a battery of bathrooms connected to offices hosted for a long time into the building. The restoration, started in 2004, has provided the reconstruction of vault using a wooden frame completed by rods, and a wooden floor had to constitute the bearing structure. However, other tiled vaults were founded at the mezzanine floor, so that it was thought to rebuild the already collapsed one adopting the original construction system (fig. 5). The elimination of collapsed portion permit to rediscover the ancient trace made in the masonry to create the support of the new barrel vault: it is a neat cut, presenting a depth of about 9cm and a height of about 15cm, having triangular shape and made in the limestone ashlars of masonry. Along the two short sides, the vault, having a slightly lowered profile, presented no supports on masonry. The wooden ribs were placed every two meters, in order to support the continuous plank surface whose planks (4 meters long) were staggered with joints corresponding to the wooden ribs. The materials used for reconstruction were the already mentioned pantofali thin tiles, put in place on three layers using a gypsum mortar.



Figure 4, 5. Reconstruction of a partially broken down tiled vault. Philological reconstruction of a tiled barrel vault with lunettes.

#### 4. CONCLUSIONS

Actually, the legislation evolution is oriented to discourage the demolition and to direct towards the maintenance; some unique example have demonstrate how the new construction of tiled vaults can be a viable and economical alternative to the creation of traditional stony vaults.

An emblematic and original example is represented by the recent reconstruction, after the collapse of an original great stony vault in a fifteenth century building, located in the geographical area of Western Sicily (Figure 6).

Using the realina technique, realized with multi-layer thin tiles, combined with a hydraulic mortar, the pavilion-tiled vault with lunettes at the perimeter

provenienti di una batteria di bagni al servizio degli uffici ospitati per lungo tempo nell'immobile. Il restauro, avviato nel dicembre 2004, prevedeva la ricostruzione della volta con struttura in legno e canne, lasciando ad un solaio ligneo i compiti portanti. Tuttavia, riscontrata la presenza nello stesso ammezzato di altre volte realine, si ritenne di ricostruire la volta già crollata con l'originario sistema costruttivo (Figura 5). L'eliminazione dei resti del crollo ha portato a riscoprire l'antico scasso praticato nella muratura d'ambito per creare l'appoggio della nuova volta a botte: si tratta di un netto taglio della profondità di 9 cm e dell'altezza di circa 15 a forma triangolare effettuato nella calcarenite dei conci delle murature. Sui due lati corti la volta, a profilo leggermente ribassato, non presentava alcun appoggio sulla muratura. La centinatura è stata posta ogni due metri a sostegno del tavolato continuo le cui tavole di m 4 sono state sfalsate con giunzioni in corrispondenza delle centine. I materiali utilizzati per la ricostruzione sono stati i già citati pantofali a tre fogli e pasta di gesso.

#### 4. CONCLUSIONI

Attualmente l'evoluzione normativa è orientata a scoraggiare la

demolizione ed indirizzare verso il mantenimento e non mancano alcuni singoli casi che dimostrano come la costruzione ex novo di volte in foglio possa essere una valida ed economica alternativa alla realizzazione di volte tradizionali in conci. Caso emblematico e fortemente originale è la recente ricostruzione, a seguito del crollo progressivo, di un'ampia volta in conci in un palazzo quattrocentesco nell'area palermitana (Figura 6). Con la tecnica realina, a più strati di mattoni sottili uniti con malta idraulica, è stata ricreata la volta a padiglione dal perimetro lunettato, che per la corretta esecuzione e per la qualità formale ha superato collaudi e burocrazia.

has been recreated; this tiled vault has been subordinated to structural tests and bureaucracy verifies, useful to verifying its correct execution.



Figure 6. Realization of a tiled cloister vault with lunettes, taking place a collapsed stony one.

## 5. REFERENCES

- [1] Fatta G., Campisi T., Li Castri M., Vinci C., *Le volte sottili in mattoni in foglio in area palermitana*. In: Proceedings of the International Conference and Exhibition, CITTAM 2007, Costruire in “pietra” fra innovazione e tradizione. Napoli: Luciano Editore, 2007, p. 545-553.
- [2] Aragaus P., *L'acte de naissance de la Boveda Tabicada ou le certificat de naturalisation de la «voûte catalane»*, «Bulletin monumental», 158 (1998), n. 2, p. 129-138.
- [3] Bannister Turpin C., *The Roussillon vault. The Apotheosis of a «Folk» Constuction*. «Journal of the Society of Architectural Historian», 27 (1968), n. 3, pp. 163-175.
- [4] Huerta S., *La construcción tabicada y la teoría cohesiva de Rafael Guastavino*, In: Escritos sobre la construcción cohesiva y su función en la arquitectura. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 2006.
- [5] Gulli, R., Mochi, G., *Bóvedas tabicadas, Architettura e costruzione*. Roma: CPD Editrice, EdilStampa, 1995.
- [6] Truñó À., *Construcción de bóvedas tabicadas*. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 2004.
- [7] Espie F. F., *Manière de rendre toutes sortes d'édifices incombustibles, ou traité sur la construction des voûtes, faites avec des briques et du plâtre*. Paris: Duchesne, 1754.
- [8] Blondel J. F. *Cours d'Architecture ou Traité de la Décoration, Distribution & Construction des Bâtiment* (et continué par M. Patte). Paris: Desaint, 1770-79.
- [9] Rondelet. *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, Mantova: Caranenti, 1802-05.
- [10] Guastavino R., *Essay on the theory and history of cohesive construction, applied especially to the timbrel vault*. Boston: Ticknor and Company, 1893.
- [11] Gulli R., *La costruzione Coesiva. L'opera dei Guastavino nell'America di fine Ottocento*. Venezia: Marsilio, 2006.
- [12] Bares M. Mercedes, Nobile M. R., *Volte tabicadas nelle grandi isole del Mediterraneo: Sicilia e Sardegna (XV- XVIII secolo)*. In: Actas del Simposio Internacional sobre bóvedas tabicadas. Valencia, Universitat politècnica de València, 2012, p. 119-131.
- [13] Frattaruolo M. R., *Las bóvedas in folio: tradición Y continuidad*. In: Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, 26-28 ottobre 2000, a cura di Graciani A., Huerta S., Rabasa E., Tabales M., Madrid, I. Juan de Herrera, SEDHC, U. Sevilla, Junta Andalucía, COAAT Granada, CEHOPU, 2000, p. 327-334.
- [14] Zaragoza Catalán A., *A propósito de las bóvedas de crucería y otras bóvedas medievales*, «Anales de Historia del Arte», extraordinary volume (2008), p. 99-126.
- [15] Imbornone P., *Elementi costruttivi in gesso. Repertorio di antichi magisteri*. Palermo: Flaccovio, 1992.

- [16] Benfratello S., Caiozzo G., D'Avenia M., Palizzolo L., *Tradition and modernity of Catalan vaults: historical and structural analysis*. «Meccanica dei Materiali e delle Strutture», 3 (2012), n.5, p. 44-54.
- [17] Borri A., Castori G., Corradi M., Vetturini R., *Tecniche di intervento per il recupero di volte in folio*. In: Proceedings of the 15th National Conference on L'Ingegneria Sismica in Italia (ANIDIS). 30 giugno – 04 luglio 2013, a cura di Franco B., Claudio M., Padova: Padova University Press, 2013.
- [18] Gucci N., De Falco A., Cinotti M., *Volte di laterizio in folio: una tecnica di consolidamento*, «Bollettino Ingegneri - Collegio Ingegneri Toscana», 12 (2008), p. 12-16.
- [19] Gulli R., Mochi G., *Il recupero delle volte in foglio attraverso la costruzione tabicada*. «Costruire in laterizio. Architetture voltate», 2001, n. 82, p. 66-73.