

**Luigia Binda
Giulia Baronio
Giuliana Cardani
Antonella Saisi
Cristina Tedeschi
Claudia Tiraboschi**

Indagini in situ e in laboratorio sui materiali e sulle strutture della Cattedrale di Noto

On site and laboratory investigation on the remainings of the Cathedral of Noto

Introduzione

La Cattedrale di Noto venne edificata dopo il terremoto che colpì la Sicilia orientale nel 1693. Presentava un impianto basilicale a croce latina a tre navate con un profondo presbiterio ed era sovrastata da una cupola su alto tamburo poggiante su quattro archi all'innesto della navata centrale nel transetto. Il 13 marzo 1996 (sei anni dopo l'ultimo terremoto) l'intera navata centrale, i pilastri e buona parte della navata destra e della cupola collassarono (3.610 m³ di rovine) mentre la facciata e le murature perimetrali rimasero intatte [Figura 1*].

Scopi dell'indagine

L'indagine condotta nel 1998 ha riguardato [1, 2, 3]: (i) uno studio basato sui rilievi dello stato di danno per valutare: la possibilità di conservare l'ordine sinistro dei pilastri della navata centrale, opportunamente riparati e consolidati; la possibilità di consolidare le murature e i pilastri perimetrali mediante la tecnica di iniezione di miscele; (ii) analisi di laboratorio per indagare attraverso la caratterizzazione dei materiali (composizione, comportamento meccanico e fisico) il loro ruolo nelle cause del collasso e fornire agli ingegneri strutturali le caratteristiche meccaniche della muratura e dei suoi componenti (resistenza, modulo elastico, ecc.), per implementare modelli di calcolo. Scopo delle analisi di laboratorio era anche definire le caratteri-

Introduction

The Cathedral of Noto was built after the earthquake which hit the eastern part of Sicily in 1693. Its plan was a three nave basilica structure. A dome resting on a tall drum was supported by four large arches at the centre of the transept. On March 13 1996 (six years after the last earthquake) the central and part of the right lateral nave collapsed together with a large part of the dome [Figure 1*] (3,610 m³ of ruins) while the facade in a beautiful baroque style, as it was the whole church, remained intact.

Aims of the investigation

The investigation carried out in 1998 concerns [1, 2, 3]: (i) a study based on site survey concerning the state of damage of the remaining pillars of the central nave and the possibility of preserving them by appropriate strengthening and repair, the possibility of consolidation of the walls and of the pillars by the grout injection technique; (ii) laboratory investigation to detect, through the characterisation of the materials (their composition and their mechanical and physical behaviour), their role in the causes of the collapse and to provide the structural engineers the mechanical properties of the masonry and of its components (strength, elastic moduli, etc.) for the implementation of the structural models. The aim of laboratory analyses was also to define the characteristics of the new materials for reconstruction and repair and the more adequate techniques for the intervention. The time given to the Laboratory for the whole investigation was 60 days.

On site investigations

Survey on the foundations

The different type and the depth of the foundations of the pillars and walls were surveyed by excavation in strategic sites near the pillars. The foundations were built with regular courses of round river stones; they seemed to have enough load carrying capacity for the weight of the above structures. The soil was a sort of natural compact silt and clay thick layer.

Survey of the masonry sections and of the wall connections

The removal layer by layer of the components of the collapsed pillars allowed to understand the poor technique of construction used [4]. Layers of

stiche dei nuovi materiali da impiegare nella ricostruzione ed individuare le tecniche di intervento più adeguate. Il tempo concesso al Laboratorio Prove Materiali del Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico per le prove è stato di 60 giorni.

Indagini in situ

Indagini sulle fondazioni

Le fondazioni, di diverso tipo e profondità, sono state rilevate attraverso scavi locali a ridosso dei pilastri. Realizzate con corsi regolari di ciottoli di fiume, la loro capacità portante è apparsa sicuramente sufficiente per il peso delle strutture che dovevano portare. Il terreno di fondazione è costituito da una sorta di limo e argilla molto compatti.

Rilievo delle sezioni murarie e delle connessioni tra paramenti

La rimozione a strati dei resti di uno dei pilastri crollati, ha permesso di individuare la povertà della tecnica di costruzione [4]. Mentre i paramenti esterni dei pilastri erano costituiti da blocchi di calcarenite alla base (fino a 1,5 m) e di travertino nella parte superiore fino ai capitelli, l'interno era costituito da strati di grossi ciottoli di fiume alternati con giunti molto spessi di malta in apparenza molto povera, fessurata e contenente un aggregato molto fine, tendenzialmente polverulento [Figura 2*]. Le connessioni tra i paramenti esterni e l'interno del pilastro erano praticamente inesistenti ed il paramento in travertino si è rivelato molto poroso, con prevalenza di grandi vuoti e poco resistente. Un ulteriore indebolimento delle sezioni era causato dalla presenza di nicchie in ogni pilastro e di un pulpito scavato nell'ultimo pilastro della navata prima del transetto, probabilmente quello maggiormente danneggiato.

Smontaggi locali, carotaggi ed endoscopie realizzate nelle murature perimetrali e dell'abside hanno consentito di osservare che tali murature erano state costruite in modo simile, ma più accurato. Infatti le pietre utilizzate all'interno della sezione sono più piccole, ottenute a spacco ed alternate a giunti di malta più resistente di quella utilizzata per i pilastri. I pilastri addossati alle murature sono ben connessi alla muratura stessa. Anche gli speroni utilizzati come contrafforti nella parte alta della chiesa, aggiunti in tempi successivi alla costruzione sono costruiti con una tecnica migliore, simile a quella delle murature. Una caratteristica diffusa nelle

1.

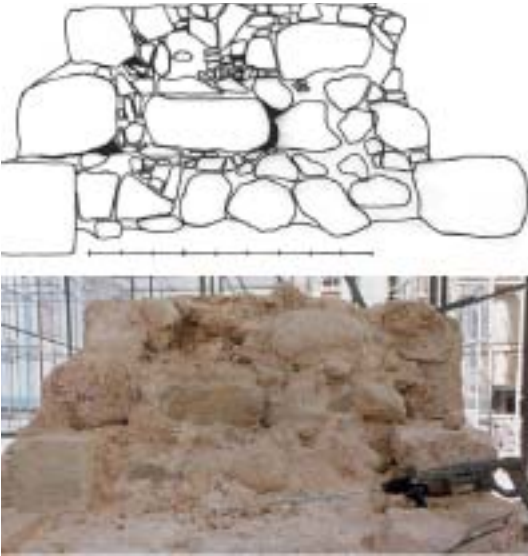
L'interno della Cattedrale dopo la rimozione delle rovine

The interior of the Cathedral after the ruins were removed



large round river stones with thick mortar joints, where the mortar appeared very weak and dusty were found in the core of the elements [Figure 2*], surrounded by an external leaf made with regular blocks of calcarenite for the base of the pillar (up to 1.50 m) and of a sort of travertine in the upper part. The connections between the external and the internal leaves were missing and the travertine leaf was highly porous with large voids. Another negative aspect of the structure was the presence of niches in each pillar at a certain height and the presence of a pulpito excavated in the last pillar of the nave before the transept, which pro-

2.
 Studio della morfologia delle
 sezioni a) restituzione grafica
 b) ripresa fotografica
 Survey of the section of the
 pillars: a) graphical restitu-
 tion b) photo



strutture della Cattedrale (e in altre costruzioni in Noto) è la presenza di numerose buche puntaie che a volte attraversano completamente l'elemento strutturale.

Rilievo del quadro fessurativo dei pilastri dell'ordine sinistro della navata centrale

I pilastri dell'ala non crollata presentavano uno stato fessurativo diffuso che poteva essere stato causato dal danno dovuto al crollo della parte opposta. Infatti le travi del solaio in laterocemento di copertura hanno certo contribuito al mantenimento della connessione tra le strutture della navata centrale fino al momento del crollo. Pertanto il danno ha senz'altro interessato anche i pilastri di sinistra. Allo scopo di studiare l'entità del danno e la profondità delle fessure, dai pilastri è stato rimosso a campione parte dell'intonaco risalente agli anni '50.

bably was bearing the highest damage. Small demolitions and coring and boroscopy were carried out also in the lateral walls and in the apse. The walls were built in a similar way; nevertheless the internal part was made with smaller sharp stones alternated with a slightly stronger mortar. There is a good connection between external walls and built-in pillars. Also the buttresses of the highest part of the nave, built successively to the Cathedral construction were made with a better technique, similar to the one of the walls. Nevertheless a common characteristic of pillars and walls (as observed in other constructions in Noto) is represented by the frequent presence of scaffolding holes crossing the whole section of the masonry.

Survey of the crack patterns of the remaining piers of the central nave left part

The pillars of the left side of the central nave showed diffused cracks which could have been caused by the collapse of the right side. In fact if the flat roof beams in reinforced concrete had contributed in keeping the central nave structure connected together during the collapse they certainly could have caused damage to the left pillars.

In order to study better that damage and to see the depth of the cracks it was decided to remove samples of the renderings which had been made in the fifties. The cracks which could be seen on the rendering went deep inside the pillars and the fissuration appeared diffused starting from the top of the base until approximately the mid and also beyond the mid of the pillars. Some cracks were wide and deep beyond the external stone leaf. Other cracks had been filled with the gypsum mortar of the rendering, showing that they already existed at the moment when the rendering was made, that is in the fifties [Figures 3 a e b]. These observation showed clearly that a continuous damage in compression was already present at least 40 years before the collapse.

On site flat-jack tests

The aim of the tests were to define: (i) the state of stress on the external leaves at the bottom of a pillar, (ii) the masonry characteristics of the external and of the internal leaf of the pillars and of the external walls. It is possible to observe the different behaviour of the internal and external part of the piers and that the stress due to the dead load of the

3.

Rilievo del quadro fessurativo dell'ordine sinistro dei pilastri, con rimozione dell'intonaco alla ricerca di eventuali fessure nascoste anteriori al crollo

Crack pattern survey of the left pillars of the central nave; the plaster was removed in order to find eventual hidden cracks previous to the collapse



a.

b.

La fessurazione, in parte già notata prima della rimozione dell'intonaco, è risultata diffusa prevalentemente al di sopra della base e fino a circa metà altezza del pilastro ed anche oltre. Alcune fessure sono ampie e profonde, oltre il paramento in pietra, altre appaiono sigillate con la malta di gesso dell'intonaco, a dimostrazione che esistevano già al momento della stesura dell'intonaco negli anni cinquanta [Figura 3 a e b']. Queste osservazioni mostrano chiaramente che un progressivo danneggiamento per compressione era già presente almeno 40 anni prima del collasso.

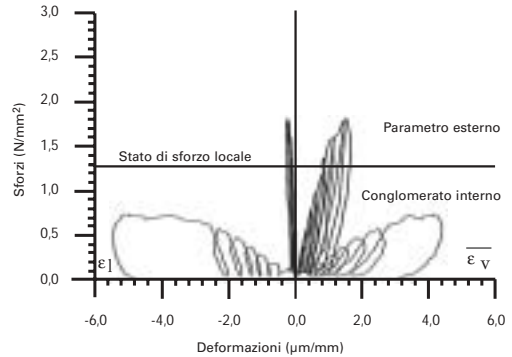
Prove in situ con martinetti piatti

Scopo delle prove era definire lo stato di sforzo sul paramento esterno alla base di un pilastro e le caratteristiche meccaniche della muratura in corrispondenza del paramento esterno e del conglomerato interno. Dai risultati [Figura 4'] è possibile osservare la differenza di comportamento tra l'esterno e l'interno dei pilastri ed anche che lo stato di sforzo dovuto a semplice peso proprio del pilastro supera i valori limite della parte interna.

Tre prove con martinetto doppio sulla muratura esterna hanno confermato che tale muratura ha

4.

Risultati delle prove con martinetti piatti sui pilastri
Results of the flat jack tests carried out on the pillars



pier is already greater than the strength of the interior [Figure 4']. Three double flat-jack tests performed on the external not loadbearing walls of the Cathedral confirmed that the wall masonry is similar to the rubble masonry inside the piers, even if its stiffness is higher.

Sonic tests

The tests were carried out in transparency at different heights of the left piers where the steel confinements allowed the access [Figure 5']. The sonic velocity values at the base of the piers where the calcarenite was used had an average value of 1,500 m/s; above the base where a sort of *travertine* was used were down to an average of 500m/s. In fact the travertine having a low density due to the large voids in its structure has also a low strength 5 N/mm² against 18 N/mm² of calcarenite. Presence of voids and /or cracks are also confirmed by the radar tests [5] carried out on remaining pier bearing the dome; this test could be performed with great difficulty due to the presence of high humidity inside the pier up to a level of 3.00m.

caratteristiche simili al conglomerato interno dei pilastri, anche se la sua rigidezza è superiore.

Indagini soniche

Le prove sono state eseguite per trasparenza a varie altezze dei pilastri dove la presenza delle cerchiature non impediva l'accesso diretto alla muratura [Figura 5*].

I valori di velocità nella parte bassa del basamento, realizzato in calcarenite, si aggirano intorno ai 1500m/s mentre nelle parti alte in travertino i valori possono scendere a 500m/s. Il travertino ha infatti una densità minore di quella della calcarenite, dovuta alla presenza di grandi vuoti all'interno della pietra stessa e una minore resistenza a compressione, pari a 5 N/mm² contro i 18 N/mm² della calcarenite.

Presenze di vuoti e/o distacchi sono confermate anche dalle prove radar [5] che tuttavia si sono potute eseguire con molta difficoltà data la presenza di elevata umidità soprattutto alla base di muri e pilastri.

Analisi di laboratorio

In collaborazione con i progettisti e gli ingegneri strutturali, in accordo con il modello matematico assunto, si era scelto di caratterizzare una sezione trasversale della cattedrale oltre ai materiali costituenti i pilastri, l'abside, le murature laterali e la cupola.

Malte dei pilastri e delle murature

Dalle analisi chimiche è risultato che le malte dei pilastri e delle murature erano state confezionate con legante a base di calce aerea e aggregato calcareo. La sabbia non si presenta ben distribuita in una ampia curva granulometrica, ma ristretta a una scarsa frazione di diametri grossi (più di 10 mm) e un'elevata frazione di materiale molto fine attribuibile al fatto che la sabbia proviene da calcareniti porose, tenere e facilmente friabili. L'eccessiva finezza dell'aggregato causa elevata richiesta d'acqua durante la preparazione della malta e produce una malta molto porosa, poco resistente e con elevato ritiro. La malta delle murature esterne ha una composizione simile a quella dei pilastri, la loro tecnica costruttiva è però molto diversa: la malta all'interno dei pilastri della navata centrale presenta scarsa adesione ai grossi massi di tipo fluviale di superficie liscia e grandi dimensioni.

Una maggior superficie di contatto della malta con

Laboratory Analyses

It was decided in collaboration with the designers and the structural engineers and according to the assumed mathematical models, to characterise the materials of a transversal section of the Cathedral. Furthermore the materials of the pillars, apse, lateral walls, arches and dome were also studied.

Mortars from pillars and walls

The chemical analyses show that the mortars of the pillars and of the walls were all made with hydrated lime and calcareous aggregates. The grain size of the aggregate is not well graded as are present few large aggregates (diameter more than 10 mm) and a high percentage of very fine grains. This high quantity of fine grains is due to the fact that the aggregates come from a very porous calcarenite, soft and friable. The excessive fineness of aggregate causes a high request of water during the mortar preparation and produces a very porous mortar with high shrinkage and low strength.

The mortars of the external walls have a composition similar to the one of the pillars. Nevertheless even if the mortars are weak, the technique of construction is very different. In the internal part of the central nave pillars the mortar has a very low adhesion to the stones due to the fact that they are round and smooth and also to the fact that the contact surface mortar-round stones is lower than the mortar-sharp small stones surface.

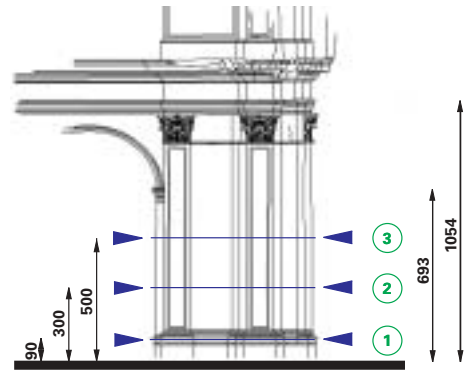
Furthermore the roughness of the sharp stones is higher, hence the bond is better [6].

Characterisation of the stones

Four main types of stones were used in the construction of the Cathedral: 1) calcarenite, used as regularly cut blocks in the external leaf of pillars and built-in columns, but only for the base, but also used for the internal leaves as sharply cut pebbles; 2) travertine, used as the calcarenite, but in much larger quantities in the external and internal leaf of the pillars and built-in columns; 3) *giuggiolena* a sort of compact travertine used for arches and dome voussoirs; 4) the round river stones used in the internal part of the pillars. The optical and chemical analyses confirm that the materials used are mainly different types of lime stone with fine grain size. They contain a high percentage of fossils which is typical of the local stone called *Noto stone*. The physical tests indicate that the stones have high absorption, rather low bulk density and therefore

5.

Indagini soniche a diversa
altezza nei pilastri
Sonic test at different heights
of the pillars



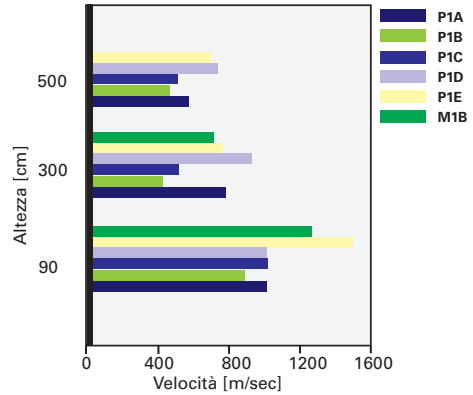
pietre di dimensioni inferiore e la maggior rugosità della pietra garantiscono una migliore coesione della malta e della pietra nelle murature perimetrali [6].

Caratterizzazione della pietra

All'interno della Cattedrale sono stati individuati essenzialmente quattro tipi di pietra: 1) calcarenite, usata soprattutto in blocchi squadrati nel paramento esterno alla base dei muri e dei pilastri, ma usata anche negli strati interni; 2) travertino, utilizzato come la calcarenite, ma in maggior quantità nel paramento esterno e all'interno del fusto dei pilastri e delle murature; 3) giuggiolena, una specie di travertino compatto, utilizzata negli archi e nella cupola; 4) massi fluviali usati all'interno di pilastri. Le analisi ottiche e chimiche hanno confermato che i materiali usati sono tutti di tipo calcareo a grana fine e con elevata porosità, contenenti un'elevata percentuale di fossili, tipica della pietra locale denominata *pietra di Noto*. Le analisi fisiche indicano un elevato assorbimento d'acqua e un basso valore di massa volumica che determinano quindi una resistenza e durabilità non molto elevate. La calcarenite è caratterizzata da una resistenza meccanica relativamente buona a secco ($18,0 \text{ N/mm}^2$ a compressione, $2,16 \text{ N/mm}^2$ a trazione) ed una resistenza allo stato di saturazione in acqua, ridotta del 35,5% a compressione e del 39% a trazione. Questa è un'informazione di rilievo se si pensa all'elevato livello di risalita capillare trovato nella parte bassa delle strutture.

Prove di iniettabilità dei pilastri e delle murature

Sono state eseguite prove di iniettabilità di diverse miscele in due pilastri tronchi e in un pilastro del muro perimetrale destro, in aree di $500 \times 500 \text{ mm}$. Scopo delle prove è stato quello di studiare l'iniettabilità di quattro diverse miscele nelle murature e



they will not have a very high strength and durability. The calcarenite is characterised by a fairly good strength when tested dry up to constant mass (18.0 N/mm^2 in compression, 2.2 N/mm^2 in tension) and by a 35-40% lower strength, when tested saturated up to constant mass. This is a very important information taking into account the high level of the capillary rise of water found in the lower part of the structure.

Grout injectability tests in piers and walls

Small areas ($500 \times 500 \text{ mm}$) of the external surface of the remaining of two pillars and of the built-in pillar of the external wall of the Cathedral were chosen for injectability sample tests. The aim of the tests was to study the possibility of applying the technique of repair by grout injection to the walls and to the damaged pillars of the left side of the central nave. The reasons for using the grout injection were: to repair cracks and voids caused by the collapse, to strengthen the internal part of the pillars where the mortars were very weak. Four different grouts were tested. The injectability was controlled during the injection by measuring the injected grout quantity and by repeating the sonic tests

nei pilastri e, soprattutto, di individuare l'efficacia delle iniezioni come tecnica di riparazione delle fessure ed eventualmente di rinforzo della parte interna, contenente malte molto deboli. L'iniettabilità ed il comportamento delle miscele sono stati esaminati sia durante l'iniezione, quantificando il materiale penetrato, sia ripetendo indagini soniche prima e dopo l'iniezione, sia smontando le parti iniettate per verificare la diffusione della miscela.

Le indagini hanno mostrato l'efficacia di tutte le miscele, ad eccezione di una, caratterizzata da scarsa *iniettabilità*. Nonostante l'efficacia delle miscele nel riempire cavità e sigillare fessure sottili, non si è verificato alcun miglioramento nelle caratteristiche della malta, povera e non iniettabile.

L'iniezione di miscele può quindi essere effettuata con successo nelle murature e nei pilastri esterni, ma non per rinforzare i pilastri della navata centrale. Le indagini soniche condotte dopo l'iniezione hanno evidenziato un miglioramento non sempre rilevante delle caratteristiche della muratura.

Conclusioni

Alla fine dell'indagine in situ ed in laboratorio sono state date ai progettisti le seguenti risposte:

- il crollo parziale della Cattedrale è avvenuto non solo in seguito ai danni provocati dal terremoto del 1990, ma anche a causa delle condizioni già precarie dei pilastri;
- considerando i risultati delle indagini in situ e in laboratorio, la povertà della tecnica costruttiva, dei materiali utilizzati, l'assenza di collegamenti tra paramento esterno e interno dei pilastri, si può confermare che il danneggiamento di questi pilastri fosse già presente negli anni cinquanta;
- le murature d'ambito, gli archi e le cupole che presentano una buona tecnica costruttiva possono essere conservati riparando i danni con iniezioni ed eventuali rinforzi; è possibile per essi applicare tecniche di iniezione con materiali molto fini, opportunamente scelti;
- la parte bassa dei pilastri di sinistra non può essere conservata né riparata a causa della cattiva tecnica di costruzione e dei cattivi materiali impiegati. Tali pilastri dovranno essere pertanto demoliti e ricostruiti allo stesso modo di quelli crollati. Infatti, una volta ricostruiti i pilastri crollati, quelli rimasti, anche se dovessero essere riparati e rinforzati, darebbero sempre origine ad una struttura non simmetrica per tipo e qualità dei materiali. La demolizione e ricostruzione dei pilastri di sini-

before and 28 days after the injection and removal of the external leaf in order to check the injection diffusion. The investigation carried out showed that apart from one grout, characterised by very low injectability, all the others grouts were effective. Nevertheless the grouts are successful in filling voids and even thin cracks, but they do not improve the behaviour of a weak mortar because the mortar cannot be injected. Therefore the grout injection can be successful for the external walls and piers, but not to strengthen the central nave piers. The sonic tests carried out after injection gave evidence of some improvement in the masonry characteristics, but not so much exciting.

Conclusions

The following answers could be given by the authors to the designers after the investigation carried out in laboratory and on site:

- the partial collapse of the Cathedral was not only caused by the damages due to the 1990 earthquake, but also due to the already unsafe condition of the central pillars;
- taking, in fact, into account the results of the laboratory and of the on site investigation, the poor technique of construction, the poor materials used, the lack of connection between the external and the internal leaves of the pillars, it is possible to confirm that the damage to these elements was already present in the fifties;
- the lateral walls, the arches and the remaining lateral domes which were built with a better technique can be repaired and preserved by grout injection and local reinforcements;
- the lower part of the left central pillars cannot be preserved or repaired due to the high state of damage, the poor technique of construction and the poor materials which cannot be strengthen in anyway. Therefore they should be demolished and rebuilt as the collapsed ones. In fact in the case that a decision would be taken to preserve them, the structure will be affected by a high lack of symmetry and this characteristic would be unsafe against the future earthquakes. The demolition and reconstruction of the pillars even if apparently non respectful of the conservation theories will lead to a better safe structure taking into account the seismicity of the place;
- the materials to be used for the reconstruction of the pillars must be more reliable than the original ones: hydraulic mortars, use of the calcarenite in

stra, anche se in apparenza meno rispettosa della conservazione, fornirà una soluzione di maggior sicurezza per la struttura tenendo conto anche dell'alta sismicità del luogo;

- i materiali da utilizzare nella ricostruzione dei pilastri devono essere più affidabili di quelli usati nei pilastri originari: malte idrauliche di buona resistenza, uso di sola calcarenite sia per i paramenti esterni sia per il riempimento, inserimento di diatoni in fase di costruzione [7].

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare L. Cattaneo, C. Colla, M. Garau, G. Paccapelo per la collaborazione in sito e M. Antico, M. Cucchi, M. Iscandri, P. Perolari per la loro collaborazione alle prove in sito e in laboratorio. Le indagini sono state finanziate dalla Prefettura di Siracusa.

the external leaf and in the core filling, transversal stones to connect the external and the internal parts [7].

Acknowledgements

The authors wish to thank L. Cattaneo, C. Colla, M. Garau, G. Paccapelo for the on site collaboration M. Antico, M. Cucchi, M. Iscandri, P. Perolari for their collaboration to the on site and laboratory tests. The investigation was supported by the Prefettura of Siracusa.

BIBLIOGRAFIA /

BIBLIOGRAPHY

- [1] Tringali S., De Benedictis R., La Rosa R., Russo C., Bramante A., Gavarini C., Valente G., Ceradini V., Tocchi C., Tobriner S., Maugeri M., Binda L., Baronio G., The Reconstruction of the Cathedral of Noto, Proc. Int. Symp. On Earthquake Resistant Engineering Structures (ERES II), Eds. G. Oliveto and C.A. Brebbia, Catania, pp. 499-510, 1999; pubblicata anche su Construction and Building Materials, 17, pp. 573-578, 2003
- [2] L. Binda, Baronio G., Cattedrale di Noto - Indagini preliminari al progetto di ricostruzione: indagini e prove strutturali sugli elementi murari, Relazione Finale, Contratto Prefettura di Siracusa, 1998
- [3] L. Binda, Baronio G., Contratto di Consulenza: Studio sullo stato di conservazione dei materiali e delle strutture e sulla possibilità di un loro recupero in base ai risultati delle prove e dei rilievi di laboratorio e in situ, Relazione Finale, Contratto Prefettura di Siracusa, 1998
- [4] Binda L., Tiraboschi C., Baronio G., On Site Investigation on the Remains of the Cathedral of Noto, Seminario Int.: Ricostruendo la Cattedrale di Noto e la Frauenkirche di Dresda: due casi di studio di ricostruzione in muratura, Noto 10-12/02/2001, pp. 71-89, 2002. Special Issue, Construction Building Materials, 17, pp. 543-555, 2003
- [5] Baronio G., Binda L., Tedeschi C., Tiraboschi C., Characterization of the Materials Used in the Construction of the Noto Cathedral, Seminario Int.: Ricostruendo la Cattedrale di Noto e la Frauenkirche di Dresda: due casi di studio di ricostruzione in muratura, Noto 10-12/02/2001, pp. 107-120, 2002, pubblicato anche su Special Issue, Construction Building Materials, 17, pp. 557-571, 2003
- [6] L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi, S. Valle, C. Colla, M. Forde Application of sonic and radar tests on the piers and walls of the Cathedral of Noto, Construction and Building Materials 17 (2003) 613-627
- [7] Binda L., Baronio G., Tiraboschi C., Tedeschi C., Experimental Research for the Choice of Adequate Materials for the Reconstruction of the Cathedral of Noto, Special Issue, Construction Building Materials, 17, pp.629-639, 2003