

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a
crociera dell'ospedale di
St. John a Gerusalemme

Silvia Briccoli Bati, Mario Fagone,
Giovanna Ranocchiali, Tommaso Rotunno

Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Introduzione e Motivazioni

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Old City of Jerusalem and its Walls

Inventory and Conservation Priorities Map for Historic Monuments and Sites (2007)

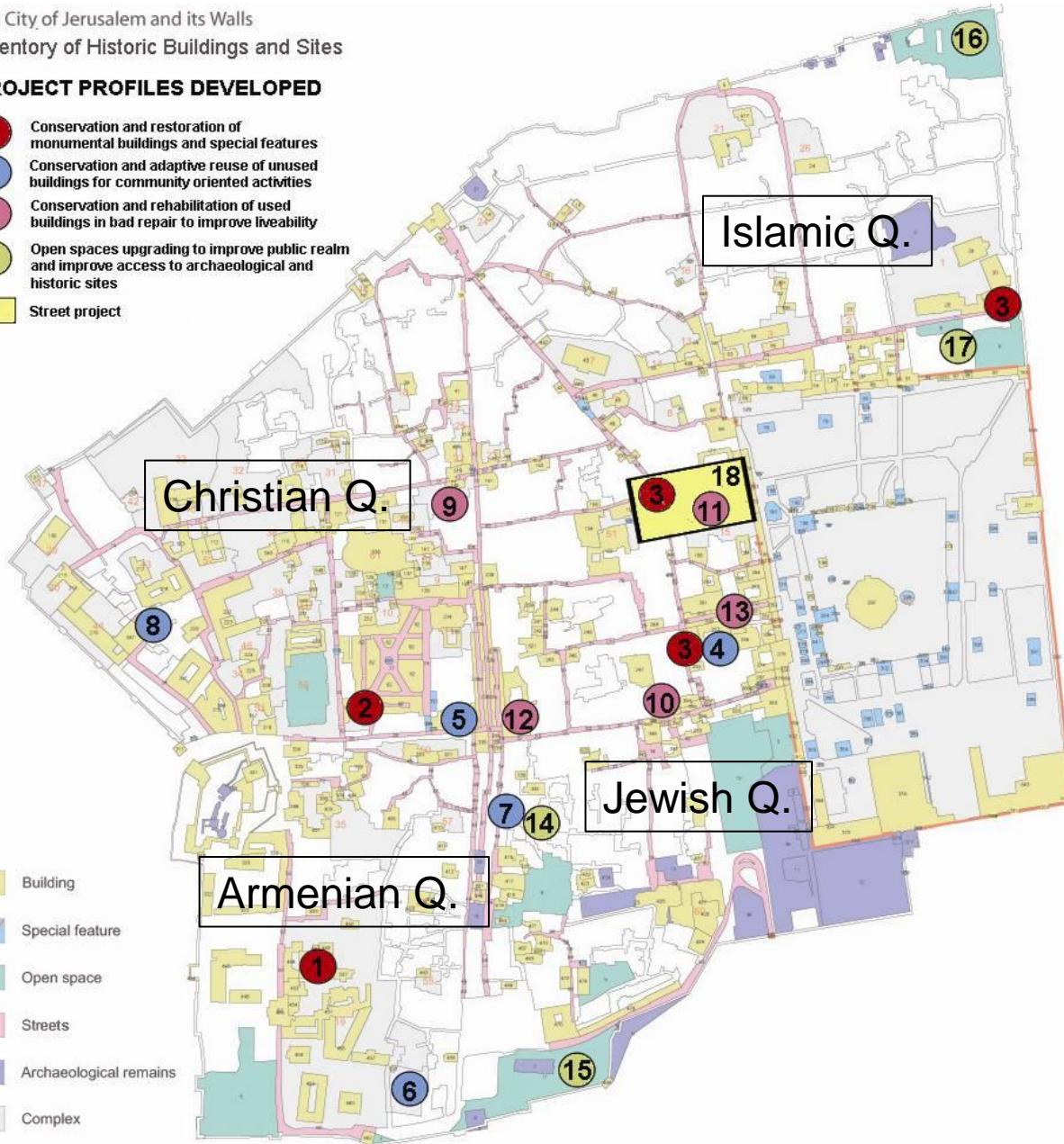
Introduzione e Motivazioni

Old City of Jerusalem and its Walls
Inventory of Historic Buildings and Sites

PROJECT PROFILES DEVELOPED

- Conservation and restoration of monumental buildings and special features
- Conservation and adaptive reuse of unused buildings for community oriented activities
- Conservation and rehabilitation of used buildings in bad repair to improve liveability
- Open spaces upgrading to improve public realm and improve access to archaeological and historic sites
- Street project

- Building
- Special feature
- Open space
- Streets
- Archaeological remains
- Complex



The types of Project Profiles developed

a) Conservation / Restoration

1. Cathedral of St. James
2. Church of St. John the Baptist
3. Sabil(s)

b) Adaptive Reuse of unused building

4. Hammam Al-Ain
5. St. John Hospital
6. St. Archangels Convent
7. Etz Hayim Yeshiva
8. Al Ma'mal tile factory

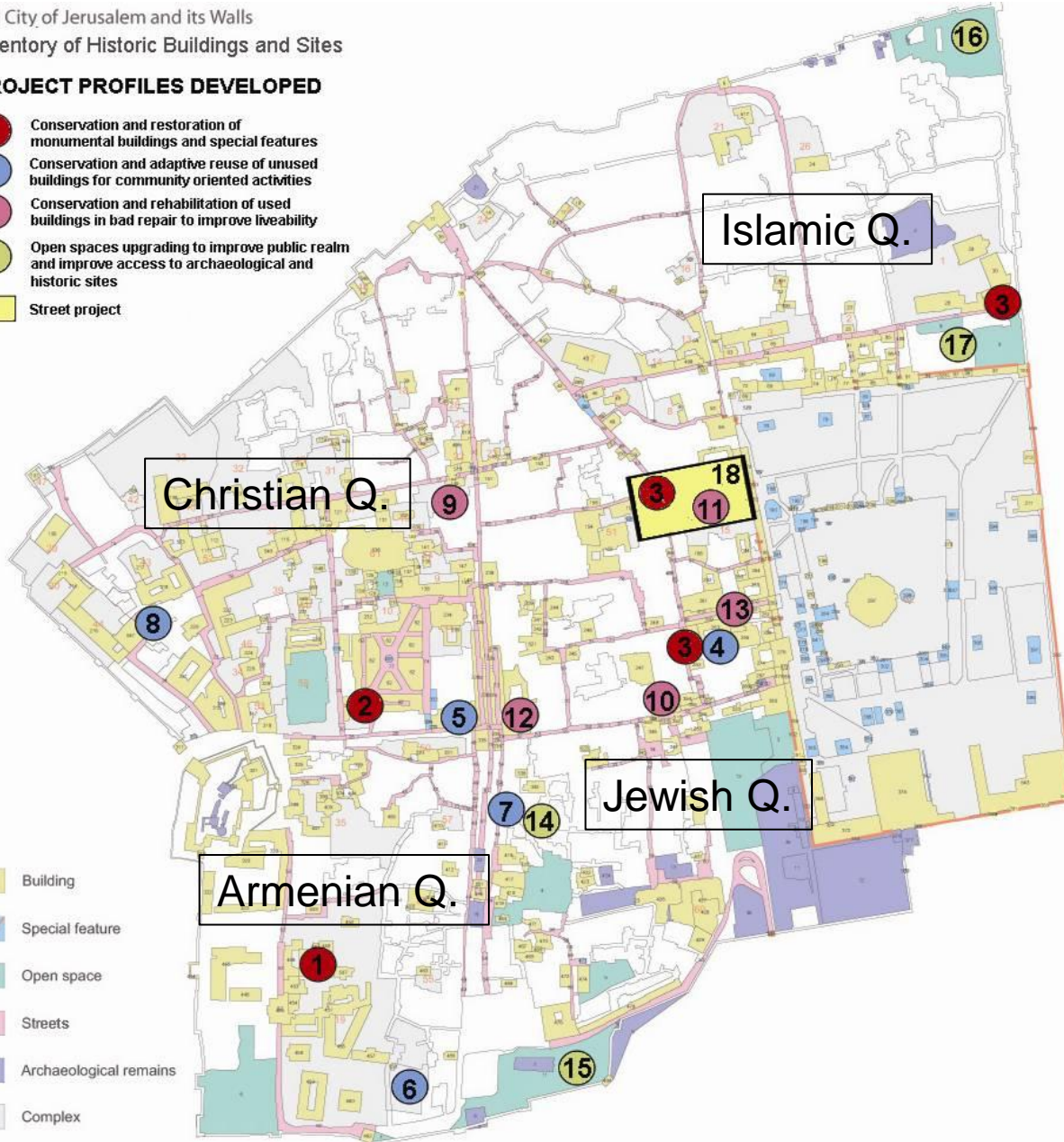
Introduzione e Motivazioni

Old City of Jerusalem and its Walls
Inventory of Historic Buildings and Sites

PROJECT PROFILES DEVELOPED

- Conservation and restoration of monumental buildings and special features
- Conservation and adaptive reuse of unused buildings for community oriented activities
- Conservation and rehabilitation of used buildings in bad repair to improve liveability
- Open spaces upgrading to improve public realm and improve access to archaeological and historic sites
- Street project

- Building
- Special feature
- Open space
- Streets
- Archaeological remains
- Complex



The types of Project Profiles developed

c) Conservation and Rehabilitation of used buildings in bad repair

- 9. St. John
Charalambos
Convent
- 10. Madrasa al-Kilaniyya
- 11. Ribat Al Kurdi/Al Mansour (as part of the Annazeer street project)
- 12. Khan al-Sultan
- 13. Suq al-Khattanin

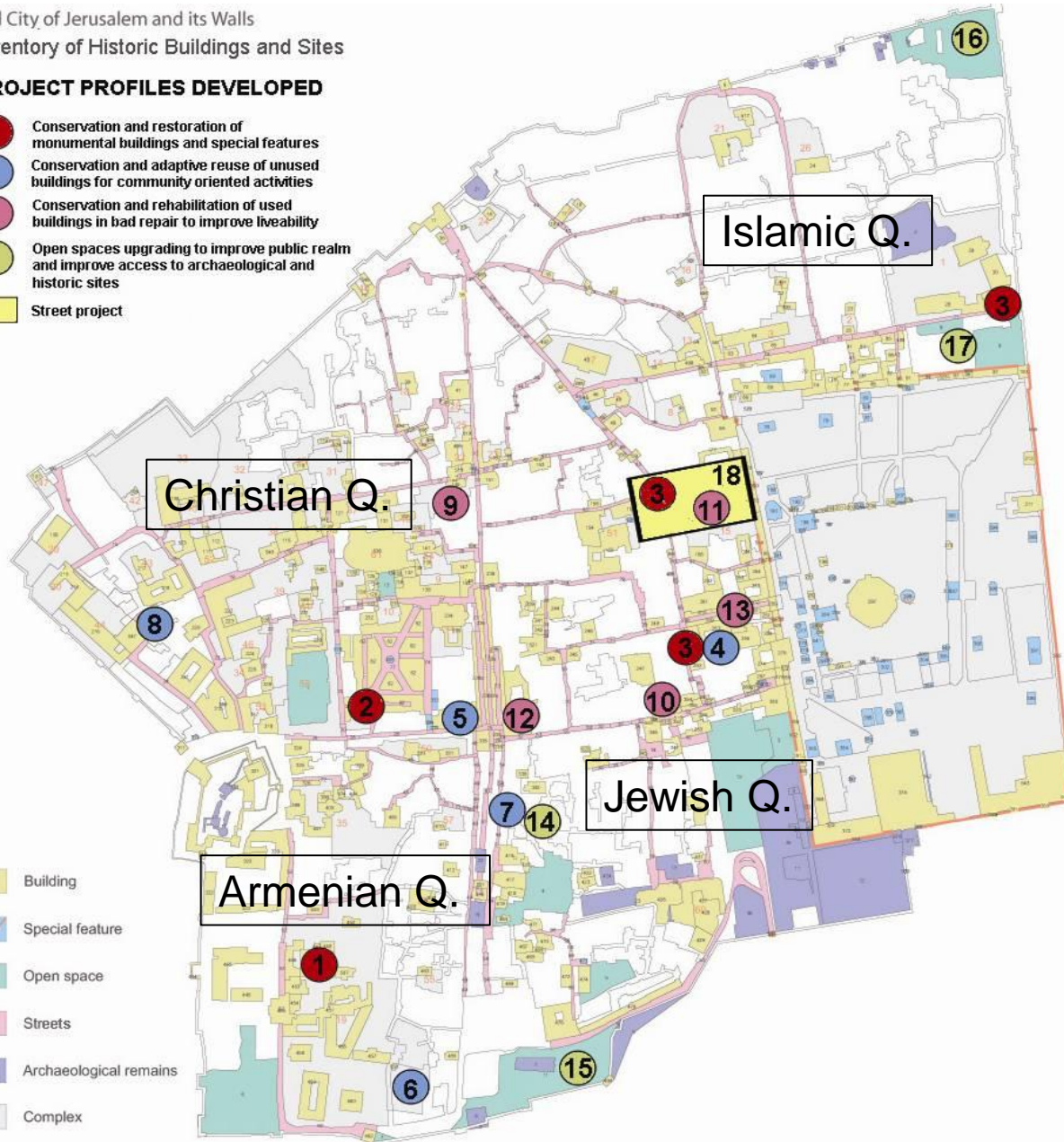
Introduzione e Motivazioni

Old City of Jerusalem and its Walls
Inventory of Historic Buildings and Sites

PROJECT PROFILES DEVELOPED

- Conservation and restoration of monumental buildings and special features
- Conservation and adaptive reuse of unused buildings for community oriented activities
- Conservation and rehabilitation of used buildings in bad repair to improve liveability
- Open spaces upgrading to improve public realm and improve access to archaeological and historic sites
- Street project

- Building
- Special feature
- Open space
- Streets
- Archaeological remains
- Complex



The types of Project Profiles developed

d) Public Open Spaces upgrading

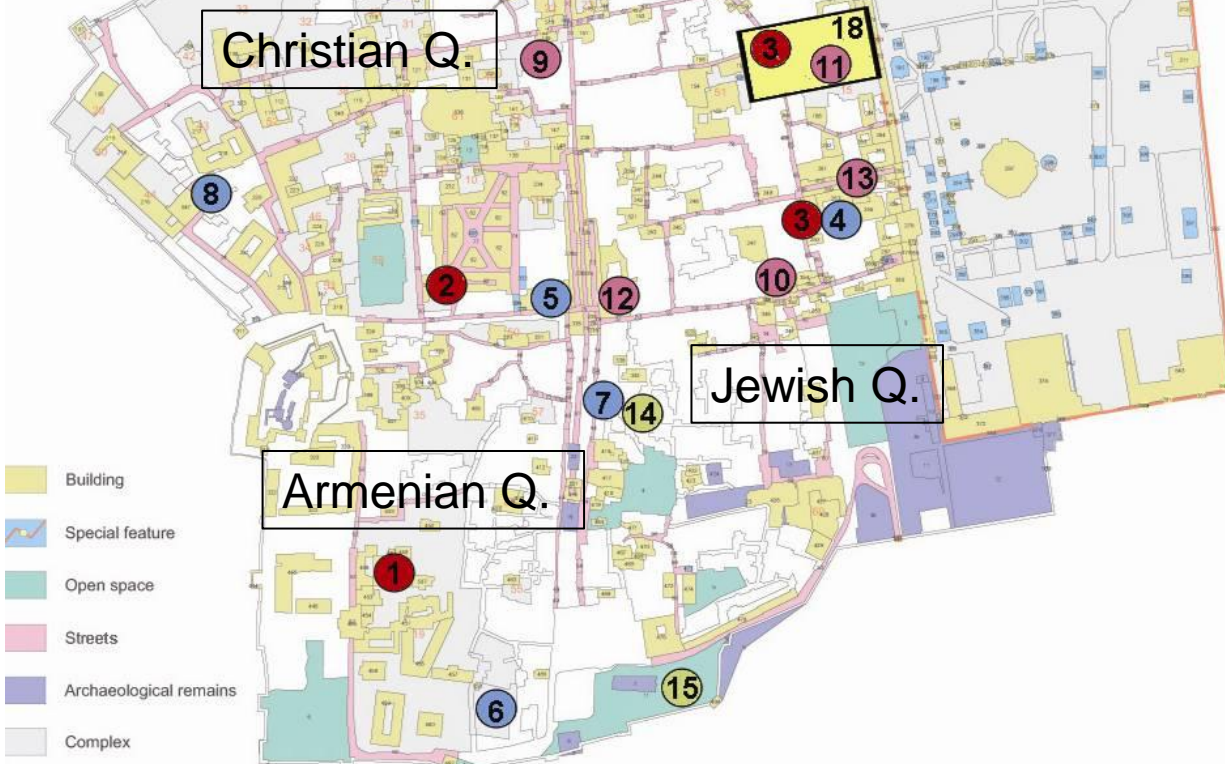
- 14. Broad wall and Israelite Tower
- 15. Nea Church area along the southern section of the City wall
- 16. Burj el Luqluq area
- 17. St. Stephen's Gate area

Introduzione e Motivazioni

Old City of Jerusalem and its Walls
Inventory of Historic Buildings and Sites

PROJECT PROFILES DEVELOPED

- Conservation and restoration of monumental buildings and special features
- Conservation and adaptive reuse of unused buildings for community oriented activities
- Conservation and rehabilitation of used buildings in bad repair to improve liveability
- Open spaces upgrading to improve public realm and improve access to archaeological and historic sites
- Street project



Work Team

The Project Profiles have been developed by a team of experts appointed by the UNESCO World Heritage Centre formed by:

- Daniele Pini
- Claudio Alessandri
- Franco Frison
- Luca Lanzoni
- Saveria Teston
- Roberto Malvezzi
- Roberto Meschini
- Andrea Pasquato
- Marcella Pirazzoli
- Sara Vespignani

St. John Hospital



- Complesso n. 50, edificio 335
- Altre denominazioni:
Sūq al Bāzār (UNESCO 1981)
...
- Attualmente l'edificio è di proprietà di una importante famiglia di Gerusalemme e, in parte, dell'ordine di St. John
- Situato nel cuore della Città Vecchia, nel Quartiere Cristiano, ma adiacente a tutti e quattro i Quartieri della città vecchia
- È collocato nel punto di intersezione tra in Suq e la commerciale King David Street
- Attualmente è solo parzialmente utilizzato come deposito per gli adiacenti esercizi commerciali

St. John Hospital

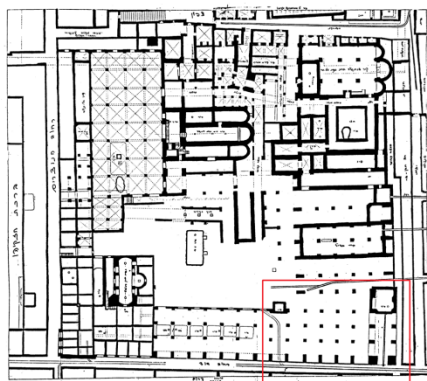


- È uno dei pochi resti del complesso del St. John Hospital, eretto dai Crociati nella prima parte del XII secolo
- Assieme alla vicina chiesa di St. John, testimonia l'assetto urbanistico e le caratteristiche architettoniche del quartiere degli Ospitalieri prima della grande ristrutturazione intrapresa alla fine del XIX secolo

St. John Hospital – Cenni storici

- XI secolo: un gruppo di mercanti amalfitani fondò, nei pressi del Santo Sepolcro, il monastero Benedettino di S. Maria dei Latini, un ospedale e una cappella per pellegrini dedicata a S. Giovanni Elemosiniere; successivamente tale complesso è stato ampliato (non è chiara l'effettiva estensione) diventando il quartiere dell'ordine militare degli Ospitalieri di San Giovanni
- La trasformazione del complesso da ospizio benedettino a Ospitaliero avvenne sotto la guida di Fratello Gherardo che diresse l'Ospedale negli ultimi anni della dominazione musulmana e riuscì a sopravvivere all'assedio del 1099
- A Fratello Gherardo succedette Raymond di Le Puy, che trasformò l'ordine religioso dei *Fratres Hospitalarii* in un ordine militare, seguendo un percorso simile a quello dei Cavalieri Templari
- Nel 1113 d.C. gli Ospitalieri ricevettero il riconoscimento Papale
- Negli anni '30 (1130) la zona a sud del Santo Sepolcro fino a David Street, estesa circa 130x130 m, fu ricostruita assieme alla chiesa di S. Giovanni Battista, patrono dell'ordine
- Negli anni '50 (1150) gli edifici del quartiere furono ampliati. In questo periodo l'Ordine degli Ospitalieri ricevette notevoli sovvenzioni e donazioni
- A questo punto il Quartiere acquisisce la sua struttura definitiva:
 - un complesso monumentale di impostazione romanica con sale e chiese coperte mediante volte a crociera (uno o due ospedali, tre chiese, un bagno, il palazzo del Grande Maestro, il dormitorio dei Cavalieri, un refettorio; stalle, un granaio)
 - locali commerciali (a sud) coperti da volte a botte;
 - servito da una fitta rete di strade molto strette
- Tutto il complesso ospitò, negli anni '60 (1160), circa 400 cavalieri; un tale insediamento richiedeva una consistenza riserva di acqua, infatti il sito è caratterizzato dalla presenza di molte antiche e profonde cisterne
- Dopo la conquista della città nel 1187, il Saladino risiedette per un periodo all'interno dell'Ospedale, ma autorizzò alcuni membri dell'Ordine dell'Ospedale di San Giovanni a rimanere per prendersi cura dei malati
- Nel 1216 una parte della cappella fu trasformata in moschea. Nel corso di quasi tre secoli molti pellegrini musulmani e cristiani sono stati curati all'interno dell'Ospedale. Dal XVII secolo tuttavia cadde in rovina

St. John Hospital – Cenni storici



Pianta del Palazzo e dell'Ospedale
dei Cavalieri di San Giovanni alla
fine del XIX secolo



Wilson map_1865



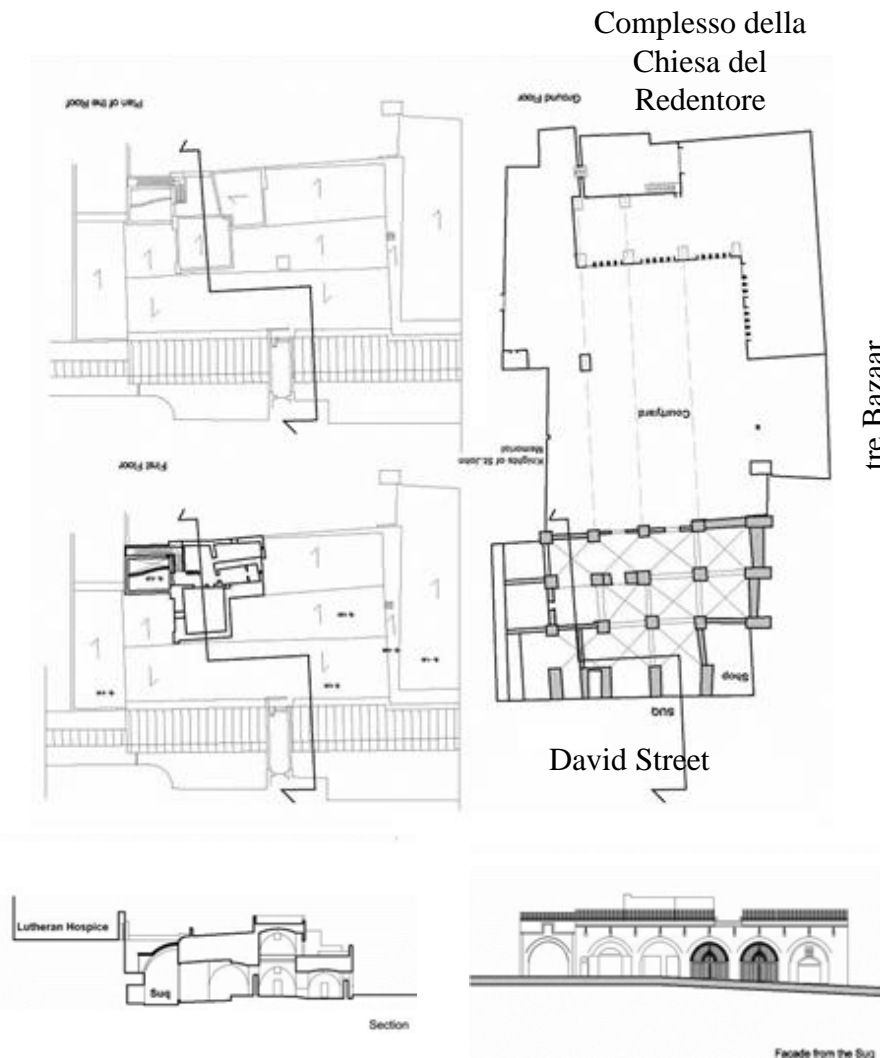
Wilson map_1900



British Mandate map_1947

- Il sito del primitivo Palazzo e dell'Ospedale dei Cavalieri di San Giovanni oggi prende il nome di *Muristan*. Fino alla fine del XIX secolo questa era una delle zone più trascurate della Città Vecchia, coperto da macerie e spazzatura
- Nel 1869, quando il Principe ereditario di Prussia visitò Gerusalemme, il sultano Abdul Aziz gli donò la parte orientale del Muristan (la parte occidentale apparteneva al Patriarca Greco).
- Nel 1898 fu inaugurata la chiesa del Redentore, costruita dai tedeschi incorporando i resti della chiesa di S. Maria dei Latini.
- Nel 1900 la parte occidentale e quella orientale del Muristan furono divise dalla costruzione della via Principe Ereditario Frederick Williams.
- Tra la fine del 1800 e l'inizio del 1900 i greci ortodossi iniziarono un vasto progetto di costruzione che interessava la parte occidentale del Muristan, realizzando tra l'altro anche un moderno mercato (1905)

St. John Hospital – Stato di fatto



- L'accesso all'edificio avviene da David street, attraverso una porta adiacente al bazaar
- L'edificio ha (di fatto) un unico piano
- Nella zona Nord-Ovest l'edificio ha un primo piano, ampio tre moduli, in cui è situato un alloggio appartenente all'Ordine di San Giovanni
- La sala principale, al piano terra, è utilizzata solo occasionalmente come deposito a servizio degli adiacenti esercizi commerciali
- Dieci moduli coperti da volte a crociera poggianti su pilastri molto tozzi

St. John Hospital – Stato di fatto

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Courtesy of prof. Alessandri

St. John Hospital – Stato di fatto

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Courtesy of prof. Alessandri

St. John Hospital – Stato di fatto



- Struttura principale (pilastri ed archi perimetrali) costituita da grandi blocchi regolari ben squadriati
- Unghia delle volte a crociera realizzate con pietre più piccole e irregolari con interposti giunti di malta molto spessi



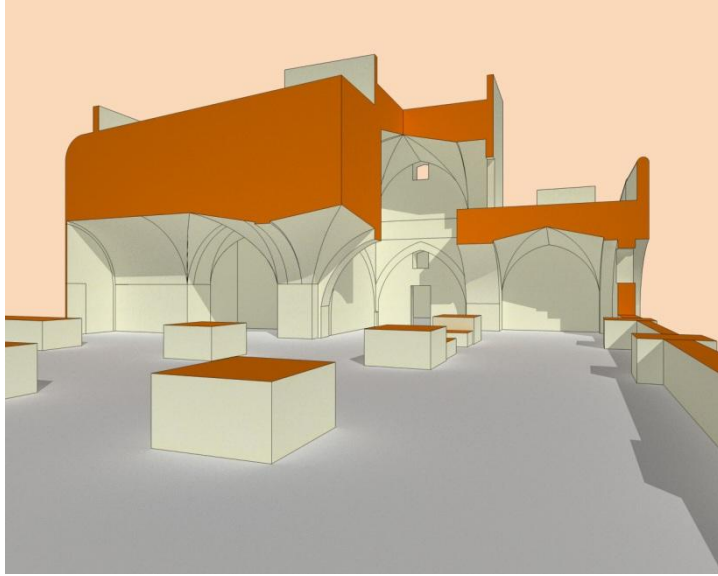
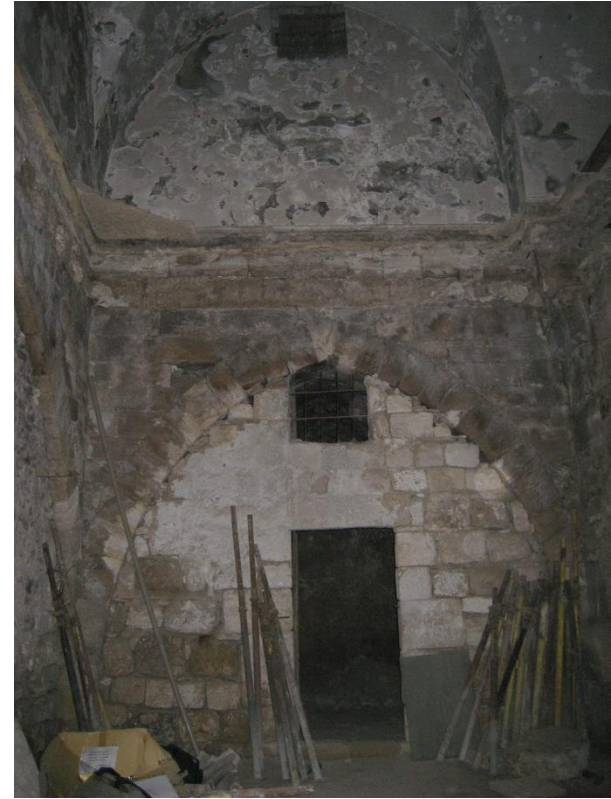
Courtesy of prof. Alessandri

St. John Hospital – Stato di fatto

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

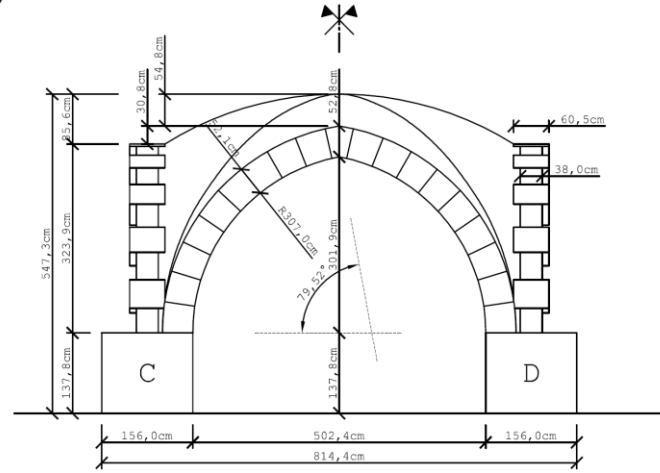
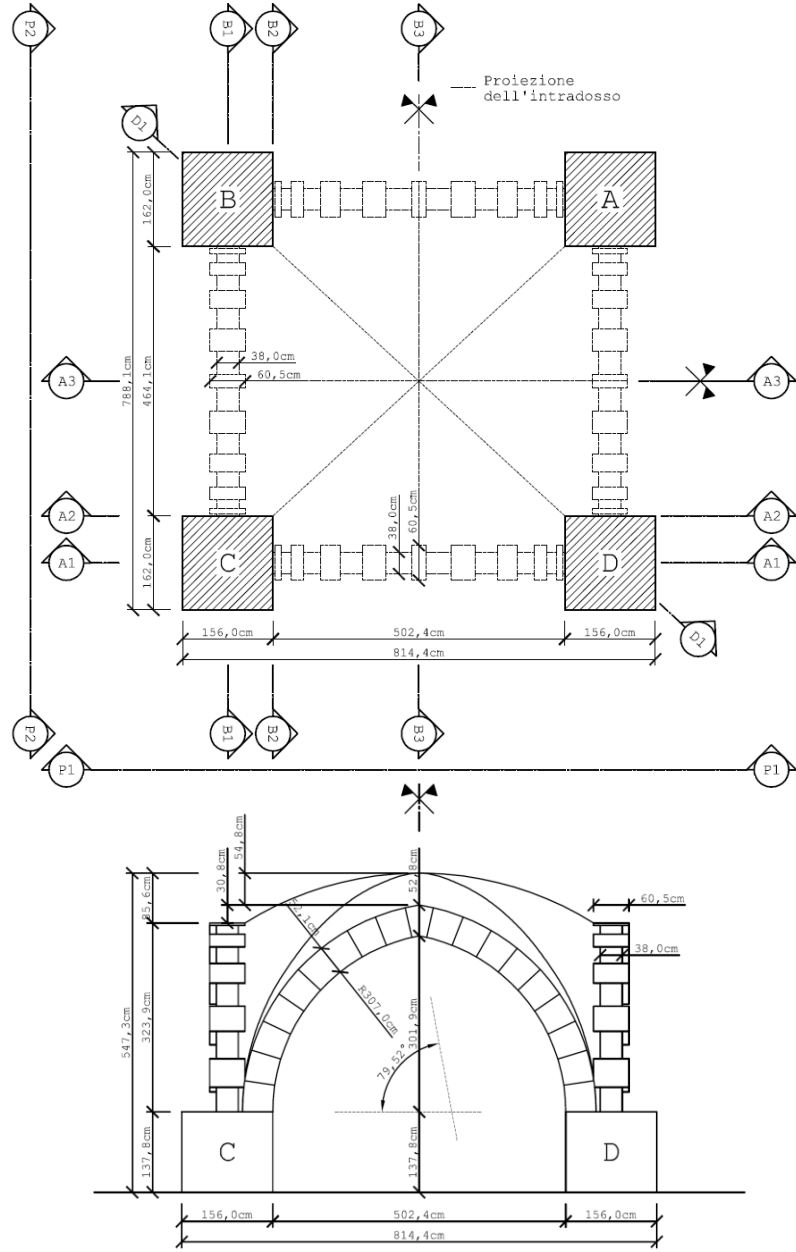
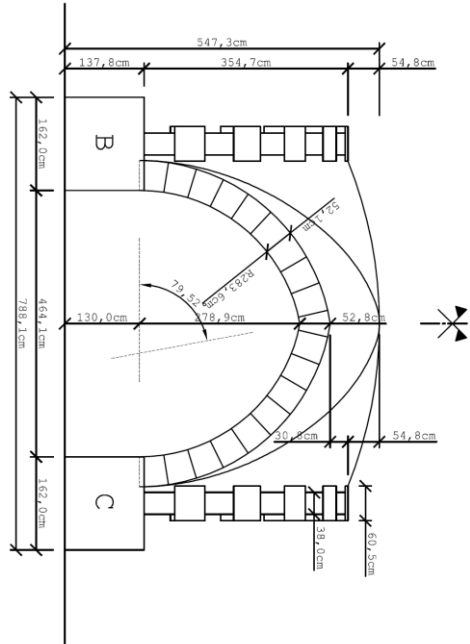
Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Courtesy of prof. Alessandri



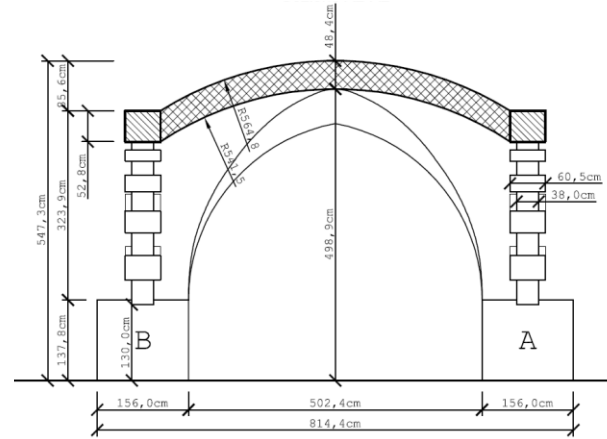
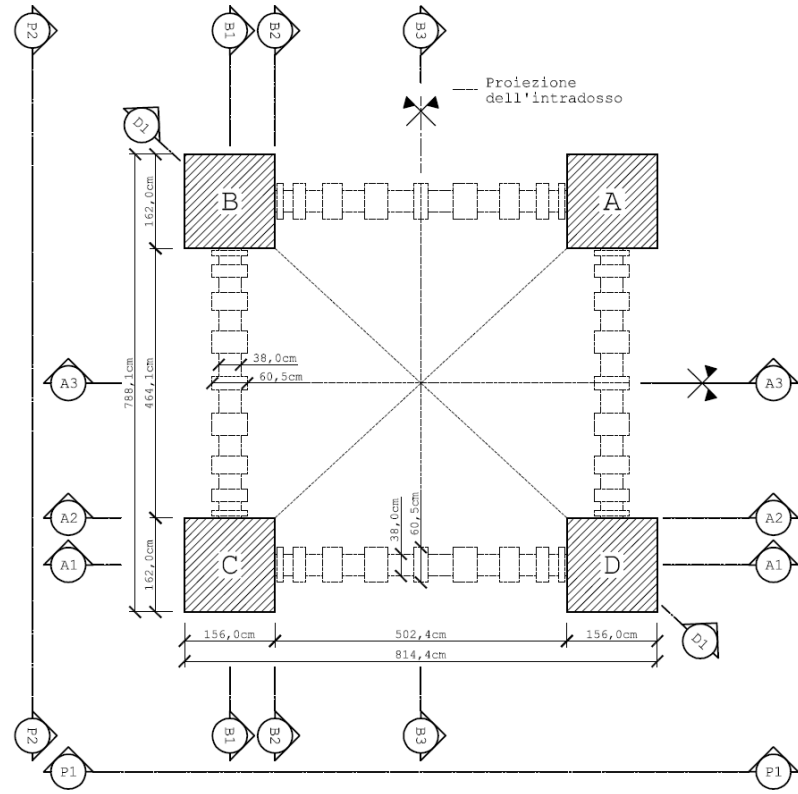
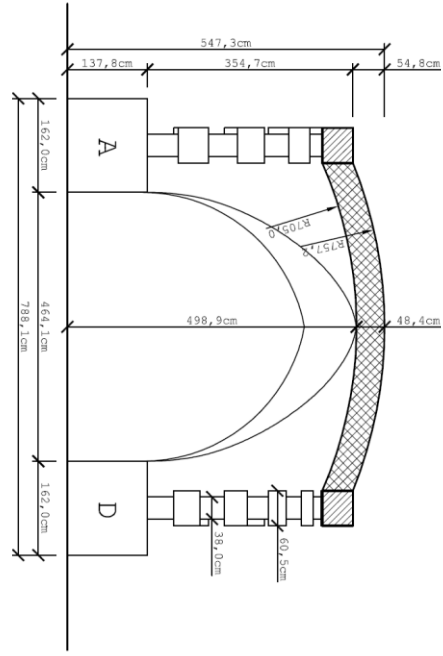
Dimensioni medie delle volte a crociera



Dimensioni medie delle volte a crociera

Analisi sperimentale di un modello in scala, rinforzato e non, del sistema di volte a crociera dell'ospedale di St. John a Gerusalemme

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno
Dipartimento di Costruzioni e Restauro

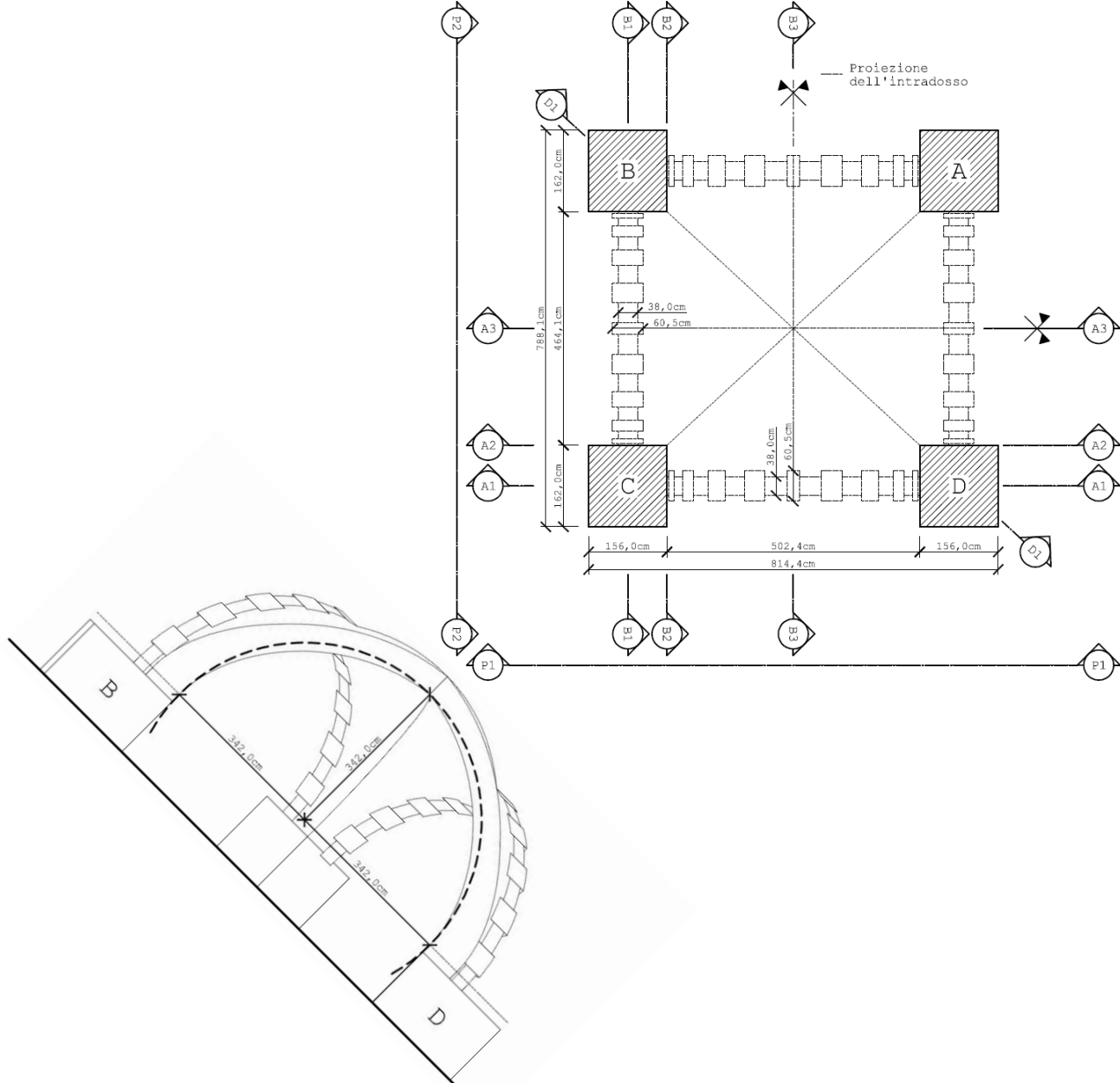


Dimensioni medie delle volte a crociera

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme

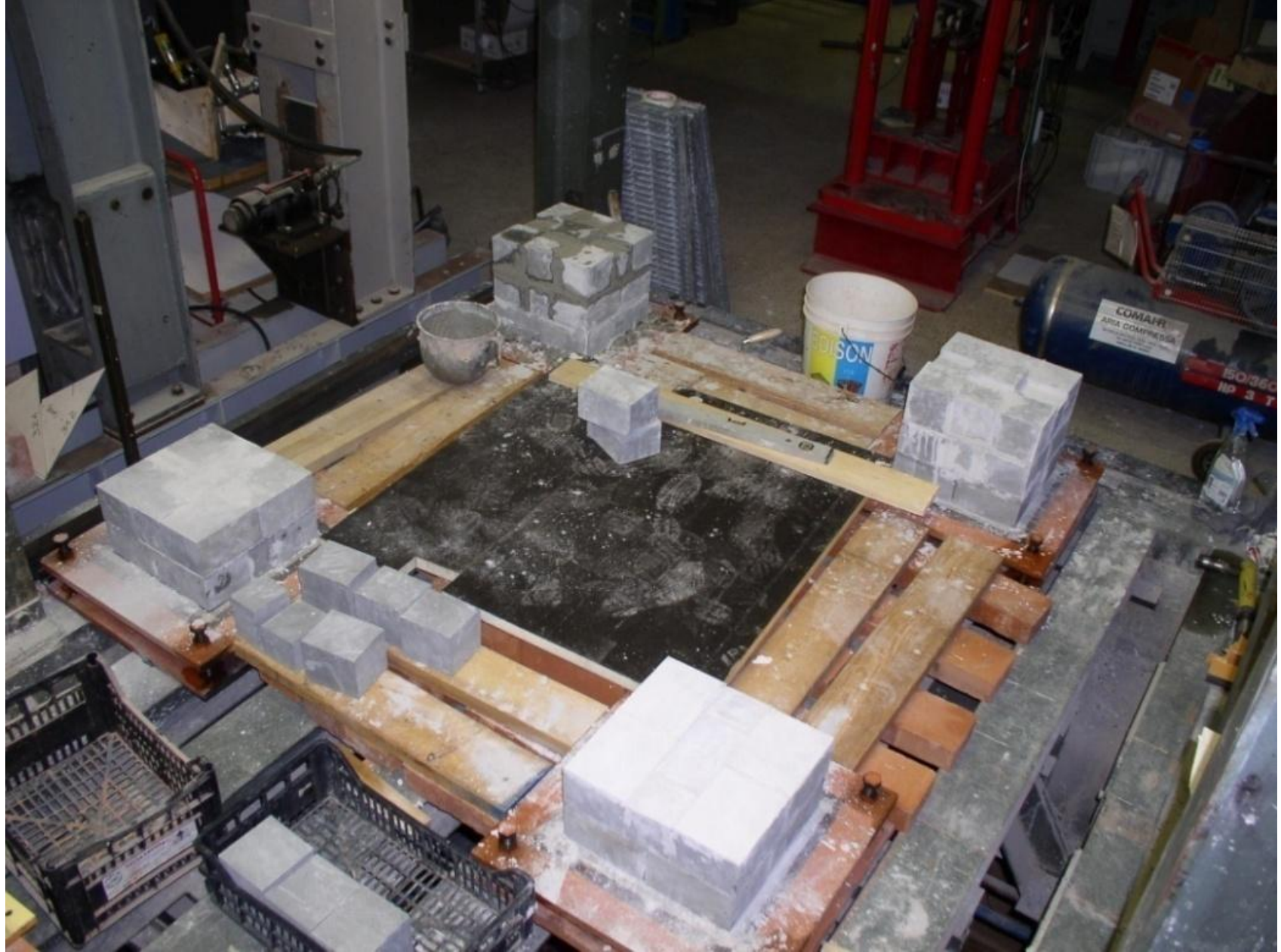


Realizzazione del modello

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme

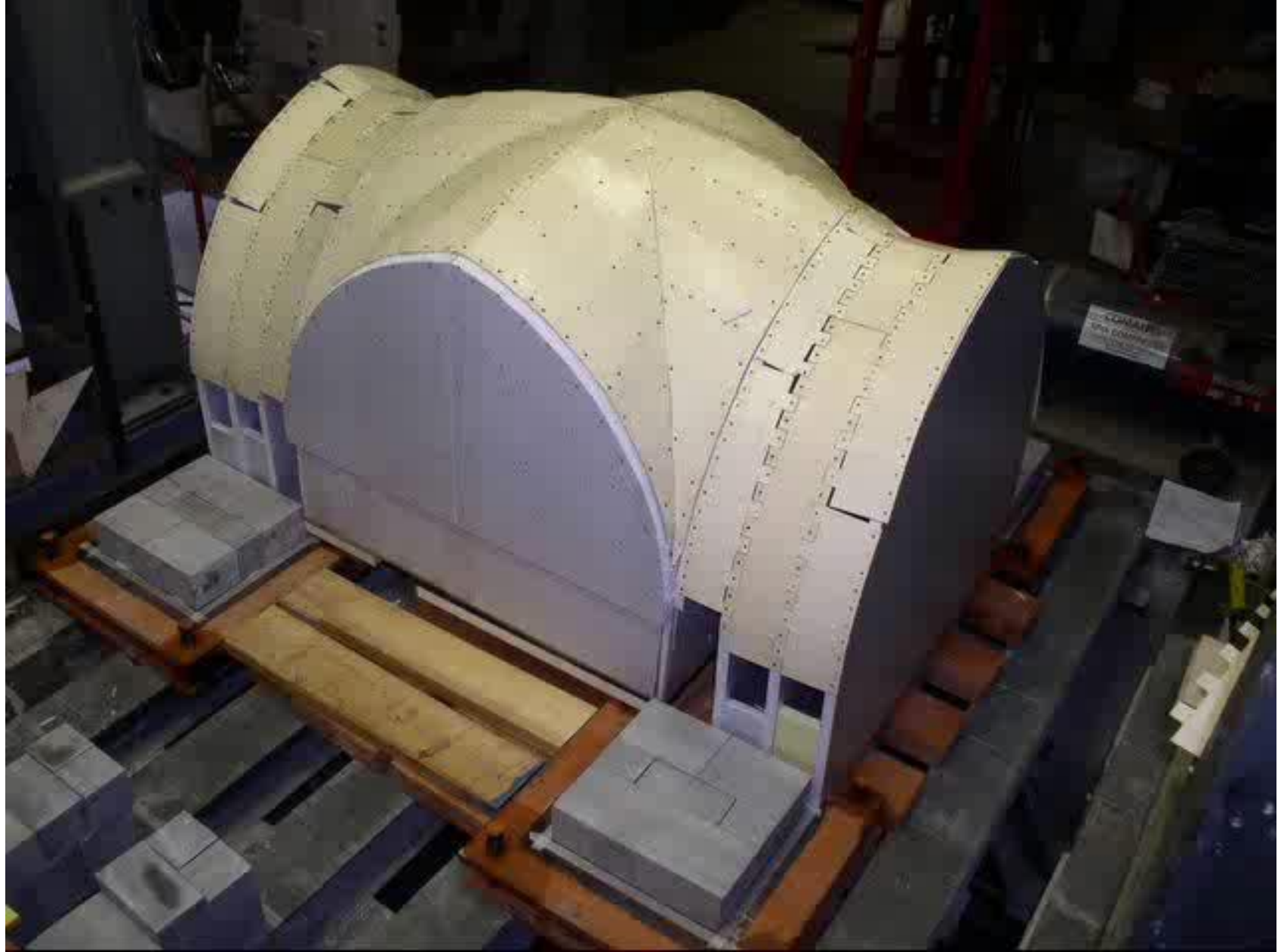


Realizzazione del modello

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Strutture

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Realizzazione del modello

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Caratteristiche meccaniche dei materiali

- Pietra Alberese, sedimentaria; ($\rho \cong 2600 \text{ kg/m}^3$)

Prova	Direzione del carico rispetto ai piani di sedimentazione	Provino	#	σ_{med} (MPa)
Compressione	Parallelo	Cubico ($s=10\text{cm}$)	3	89,7
Compressione	Ortogonale	Cubico ($s=10\text{cm}$)	3	108,7
Brasiliana	Parallelo	Cilindrico ($\phi=5\text{cm}$, $l=10\text{cm}$)	3	5,9
Brasiliana	Ortogonale	Cilindrico ($\phi=5\text{cm}$, $l=10\text{cm}$)	3	7,5



$$\sigma = \frac{P}{A}$$

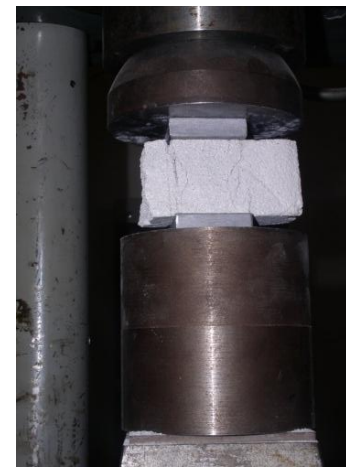
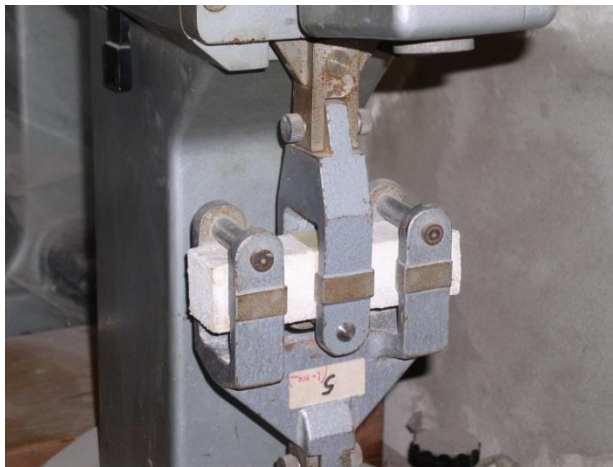


$$\sigma = - \frac{2P}{\pi L \phi}$$

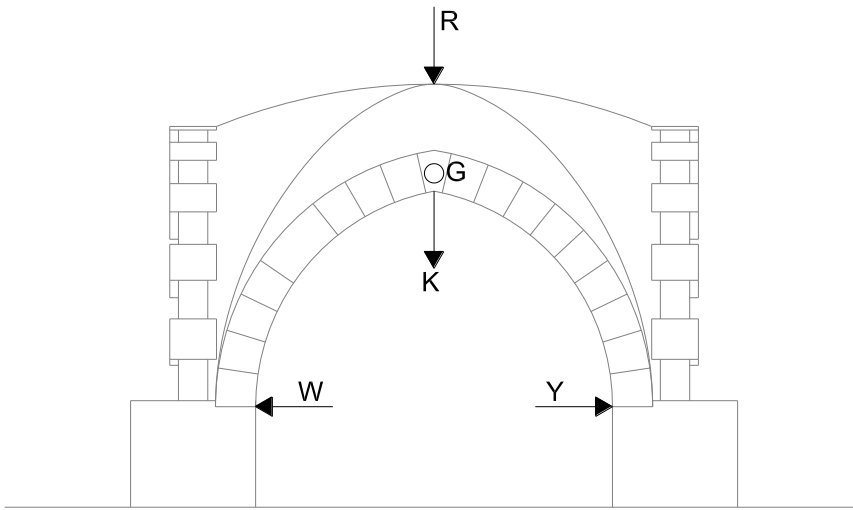
Caratteristiche meccaniche dei materiali

- Malta bastarda

		Pilastrì	Archi	Unghie
Dosaggio	Acqua	1	2	1
	Cemento	1	1	1
	Calce	1	1	1
	Sabbia	7	7	6
Prove meccaniche	provini	4x4x16 cm	4x4x16 cm	4x4x16 cm
	# prov.	3	3	3
	$\sigma_{t(fless)}$ (MPa)	0,9	0,7	1,2
	σ_c (MPa)	8,1	6,0	9,2



Applicazione del carico verticale



Modello in scala 1:5

volta a crociera:

$$V \cong 0,254 \text{ m}^3$$

$$P \cong 664 \text{ kg} \rightarrow \Delta P \cong 2650 \text{ kg}$$



Carico (kg)	Tempo (min)	Spostamento (mm)				
		G	K	W	Y	R
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
125	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
325	13	0,00	+0,02	-0,01	-0,01	0,00
450	19	-0,02	+0,05	-0,01	-0,03	0,00
550	40	-0,02	+0,06	-0,01	-0,03	0,00
650	45	-0,02	+0,06	-0,01	-0,03	0,00
750	50	-0,02	+0,07	-0,01	-0,04	0,00
850	74	0,02	+0,09	-0,02	-0,04	0,00
900	80	-0,02	+0,09	-0,02	-0,04	0,00

Prova di carico sul modello non rinforzato

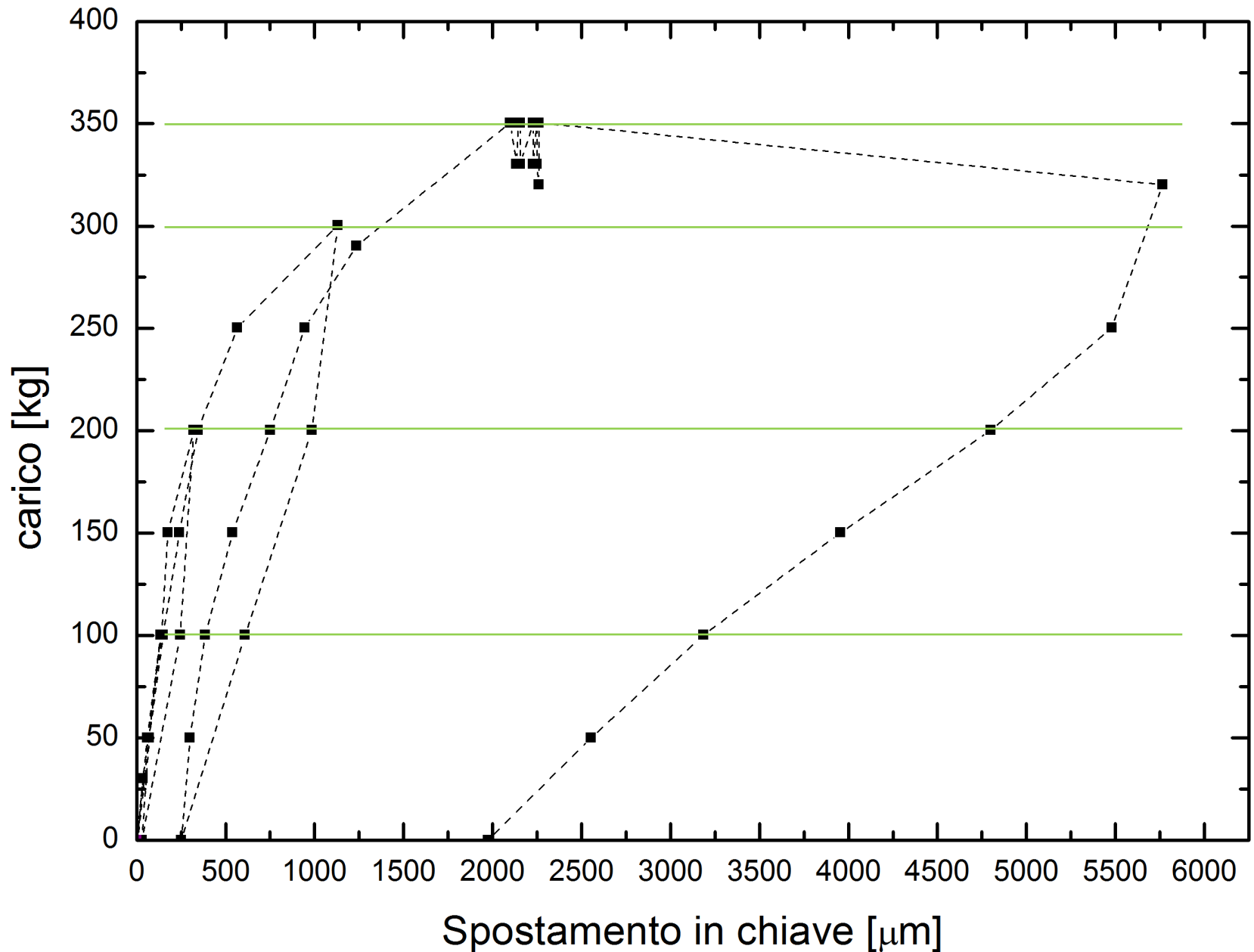
Carico →



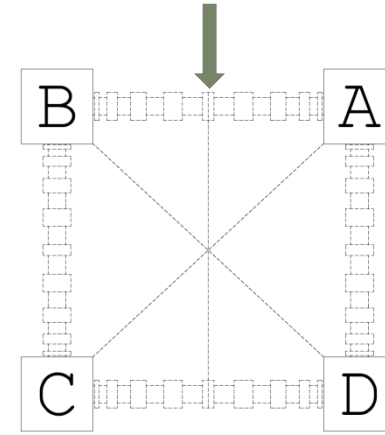
Strumentazione

- 5 LVDT
- 4 trasduttori
- 4+4 comparatori
- 5+5 basi deformometriche
- 28 basi per inclinometri

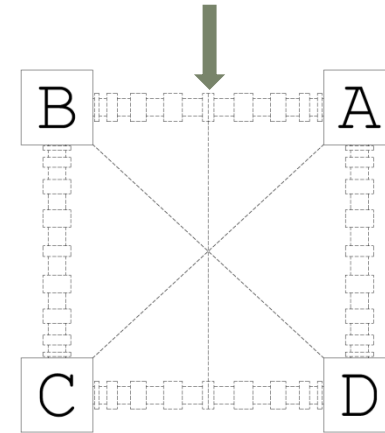
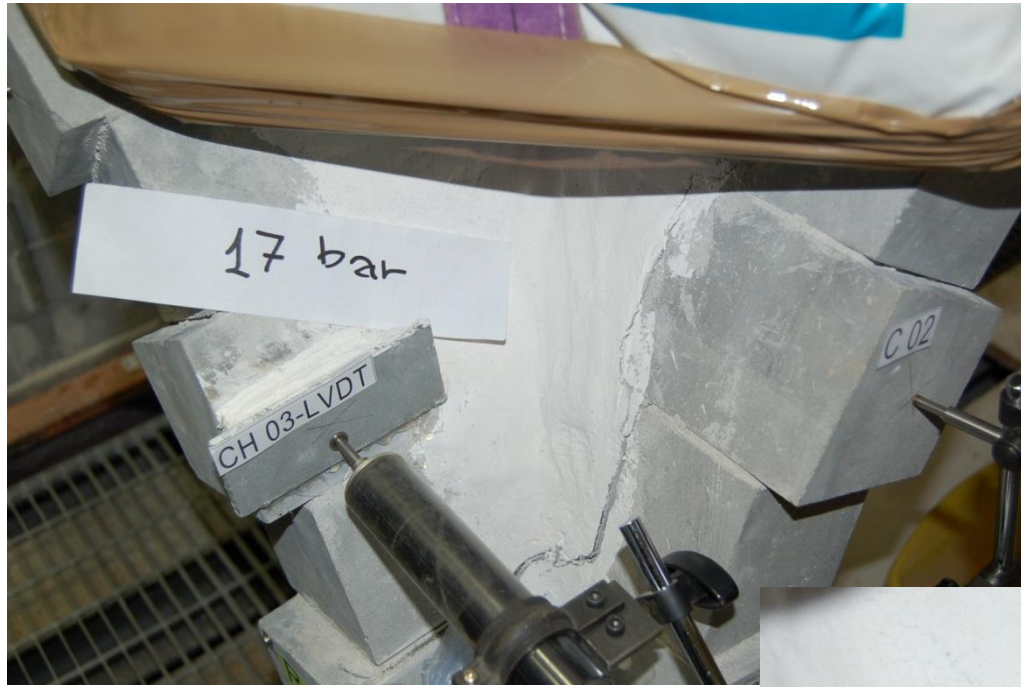
Prova di carico sul modello non rinforzato



Prova di carico sul modello non rinforzato



Prova di carico sul modello non rinforzato



Prova di carico sul modello rinforzato



BASF – MBrace

Componente	Densità (kg/m ³)	modulo elastico a trazione (MPa)	resistenza a trazione diretta (MPa)	coefficiente di dilatazione termica (10 ⁻⁶ /°C)	deformazione ultima media a trazione (%)
Rinforzo fibroso a base di tessuto unidirezionale in fibra di carbonio	-	230000	2500	0,1	1,3
Adesivo bicomponente a base epossidica	1080	3300	>25	60,1	-

Prova di carico sul modello rinforzato

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiali, T. Rotunno
Dipartimento di Costruzioni e Restauro

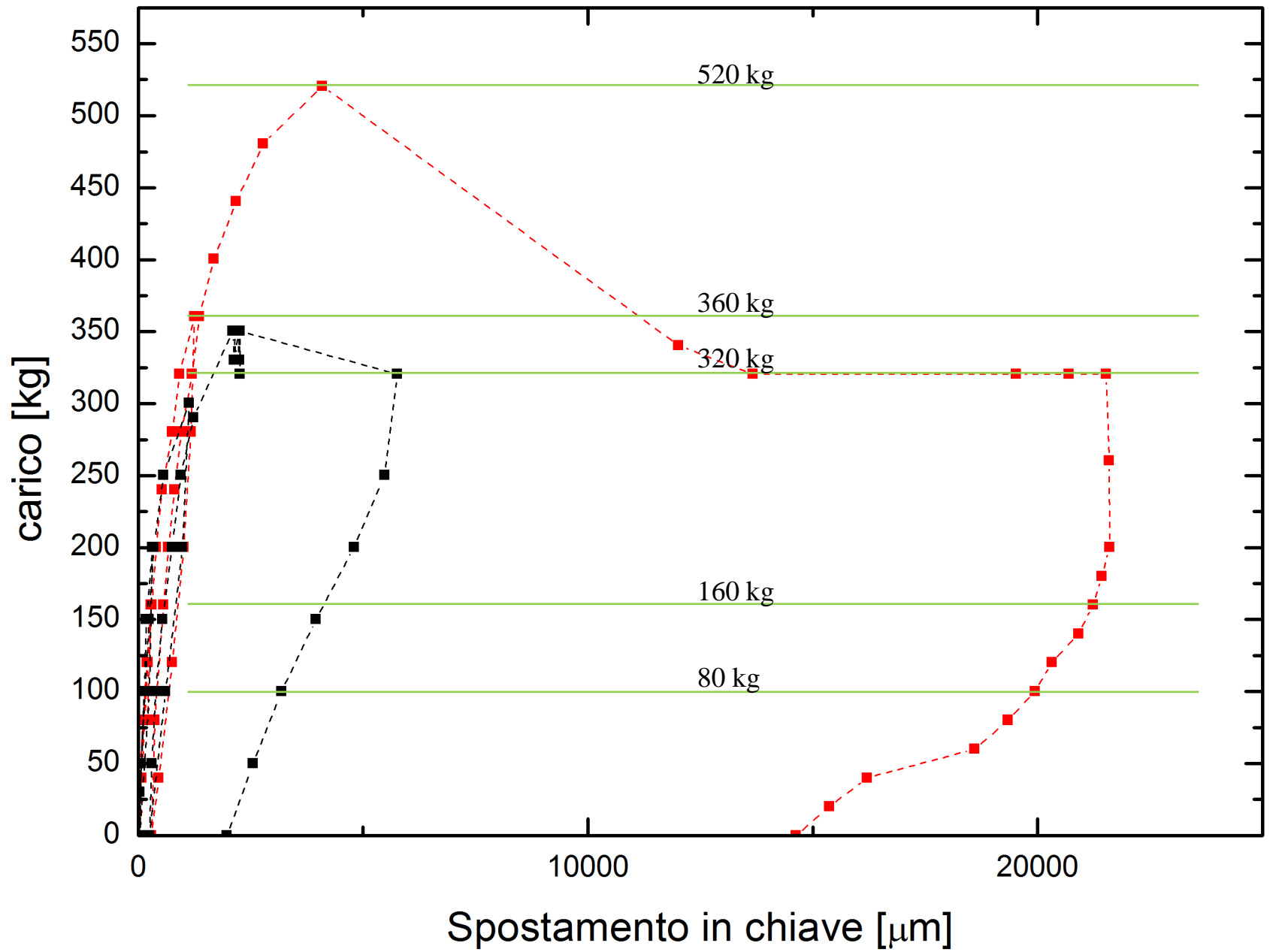
Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



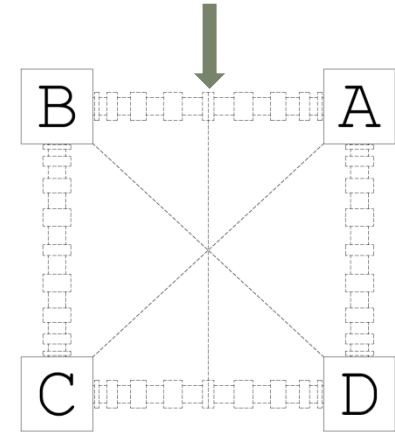
Prova di carico sul modello rinforzato

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiani, T. Rotunno
Dipartimento di Costruzioni e Strutture

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



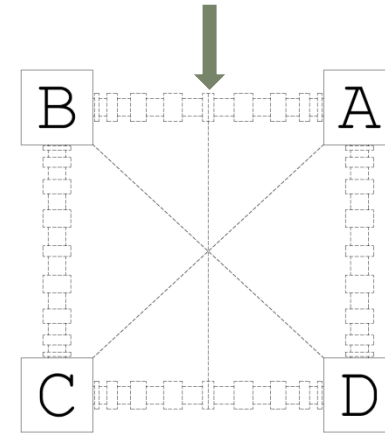
Prova di carico sul modello rinforzato



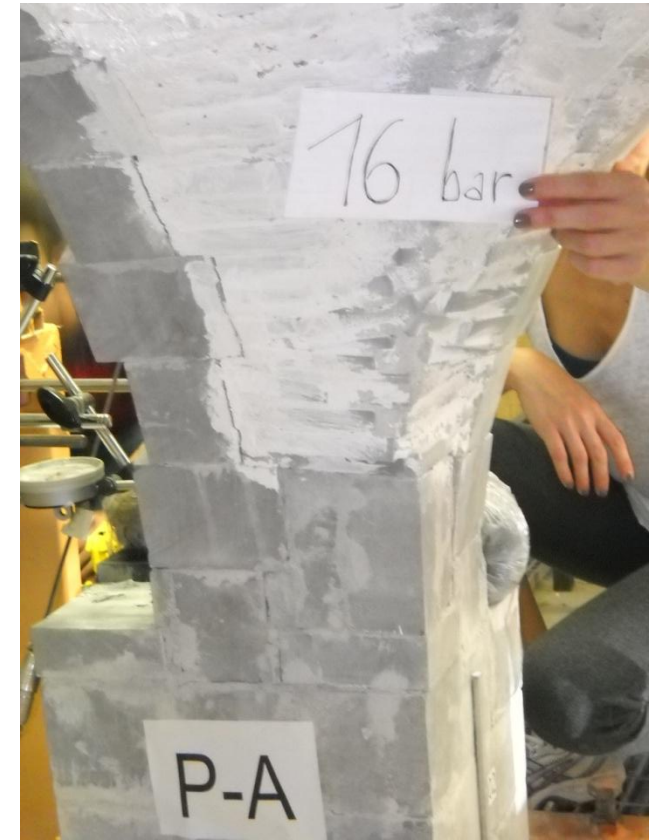
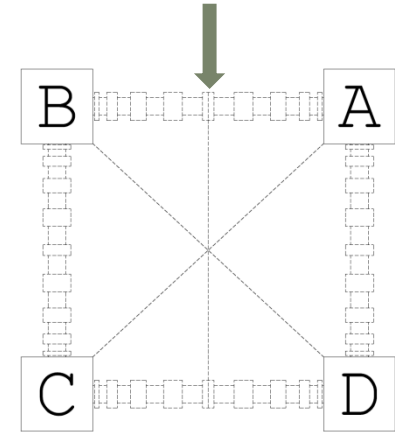
Prova di carico sul modello rinforzato

S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno
Dipartimento di Costruzioni e Restauro

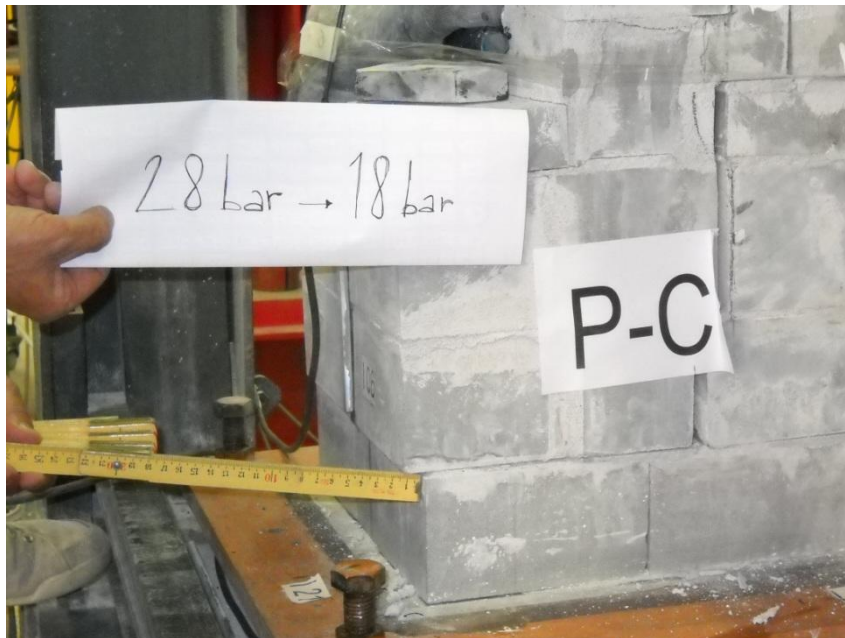
Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Prova di carico sul modello rinforzato



Prova di carico sul modello rinforzato



Prova di carico sul modello rinforzato



S. Briccoli Bati, M. Fagone,
G. Ranocchiai, T. Rotunno

Dipartimento di Costruzioni e Restauro

Analisi sperimentale di un modello in scala,
rinforzato e non, del sistema di volte a crociera
dell'ospedale di St. John a Gerusalemme



Ringraziamenti

La presente ricerca è stata realizzata grazie al contributo della Regione Toscana (progetto "Tools for modelling and assessing the structural behaviour of ancient constructions: the NOSA-ITACA code", PAR FAS 2007-2013).

Gli autori ringraziano la Regione Toscana per il contributo.