

M. LEZZERINI (*)

MAPPATURA DELLE PIETRE PRESENTI NELLA FACCIATA DELLA CHIESA DI SAN FREDIANO (PISA, ITALIA)

Riassunto - In questo articolo si riporta la mappatura dei materiali utilizzati nella facciata della chiesa di San Frediano (Pisa, Italia), che è stata inserita, insieme ad altri monumenti ed opere d'arte di eccezionale importanza (Palazzo Vecchio a Firenze, Cattedrale di Toledo, opere di Masaccio e Masolino) come cantiere di ricerca diagnostica nell'ambito del Progetto Europeo «RIS+ Toscana: Trasferimento di tecnologie innovative per i Beni Culturali».

La distribuzione dei materiali impiegati indica che la facciata della chiesa di S. Frediano è stata realizzata principalmente con litotipi di provenienza locale, presenti comunemente negli edifici pisani di epoca medioevale. Essi provengono dalla costa tirrenica a sud di Livorno (calcareniti sabbiose, conosciute localmente con il nome di «Panchina»), dal Monte Pisano (quarziti, breccie calcaree e calcari neri) e dall'Isola d'Elba (monzogranito). Nella porzione inferiore della facciata, elementi ornati, stipiti e architravi dei portali d'ingresso sono realizzati con marmi bianchi di varia provenienza (marmo del M.te Pisano, marmi apuani e marmi del bacino Mediterraneo orientale).

Parole chiave - Pietre dell'edilizia medievale, chiesa di S. Frediano, Pisa, Italia.

Abstract - *Mapping of building stones used in the façade of St. Frediano Church (Pisa, Italy).* This article reports the mapping of the building stones used in the façade of the St. Frediano Church (Pisa, Italy) that it has been included as diagnostic research yard in the frame of the EC Project «RIS+Tuscany: Transfer of innovative technologies for Cultural Heritage» together with others famous monuments and art masterworks (Old Palace in Florence, Cathedral in Toledo, Masaccio and Masolino works of art).

Distribution of the used building stones outlines that the façade of the St. Frediano Church was chiefly realized with locally available stones, commonly present in the medieval buildings of Pisa. They come from the Tyrrhenian coast to south of Livorno (sandy calcarenites, known with the local name of «Panchina»), from the Monte Pisano (quartzites, calcareous breccias and black limestones) and from the Island of Elba (monzogranite). In the bottom of the façade, carved elements, door jamb and architraves are realized with white marbles of different provenance (Monte Pisano marble, apuan and eastern marbles).

Key words - Stones of medieval buildings, Church of St. Frediano, Pisa, Italy.

INTRODUZIONE

Nel restauro del patrimonio lapideo, l'identificazione delle pietre utilizzate e del loro stato di degrado costi-

tuisce una conoscenza indispensabile per progettare un corretto intervento conservativo.

Negli ultimi anni, l'informatica applicata ai Beni Culturali ha avuto un crescente sviluppo e, attualmente, costituisce un valido strumento di supporto negli interventi di conservazione e restauro del patrimonio architettonico-monumentale. Programmi CAD (*Computer Aided Design*) e, recentemente, tecniche GIS (*Geographical Information System*) sono particolarmente richieste ed utilizzate per progettare e documentare le varie fasi di un intervento conservativo. Il crescente interesse verso queste tecniche informatiche risiede nel fatto che permettono agevolmente di memorizzare, elaborare e visualizzare informazioni spaziali e dati alfanumerici ad essi associati, combinando le potenzialità proprie dei migliori programmi di grafica con quelle dei più recenti database relazionali.

In questo articolo viene riportata la mappatura, effettuata con tecniche GIS, dei materiali presenti nella facciata della chiesa di S. Frediano (Pisa, Italia), che è stata inserita, insieme con altri monumenti ed opere di eccezionale importanza (Palazzo Vecchio a Firenze, Cattedrale di Toledo, opere di Masaccio e Masolino) come cantiere pilota di ricerca diagnostica nell'ambito del Progetto Europeo «RIS+ Toscana: Trasferimento di tecnologie innovative per i Beni culturali», supportato dal Dipartimento dello Sviluppo Economico della Regione Toscana.

MAPPATURA DEI LITOTIPI

La mappatura dei litotipi presenti nella facciata della chiesa di S. Frediano è stata realizzata, prima dei lavori di pulitura e durante i medesimi, identificando, in base alle caratteristiche macroscopiche visibili ad occhio nudo o con l'ausilio di uno stereomicroscopio portatile a 20 ingrandimenti, il litotipo di ogni concio o singolo frammento di pietra.

Per memorizzare, elaborare e visualizzare su base grafica vettoriale i litotipi osservati sul paramento della facciata è stato utilizzato un software GIS commerciale (ArcView GIS 3.2a, prodotto da ESRI - *Environmental System Research Institute*).

La base grafica utilizzata per rappresentare i litotipi impiegati nella facciata della chiesa di S. Frediano è stata realizzata in formato vettoriale, elaborando un rilievo architettonico quotato. Il rilievo, realizzato con un programma CAD commerciale (AutoCAD® 2000,

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53, I-56126 Pisa, Italia. E-mail: lezzerini@dst.unipi.it

AutoDesk), era composto da più insiemi di linee, organizzate in più livelli, che sono state convertite in un insieme di oggetti chiusi, corrispondenti ai singoli conci presenti in facciata. Nella rappresentazione grafica finale le dimensioni lineari degli elementi strutturali principali sono caratterizzate da un'accuratezza superiore a 1 cm mentre l'errore lineare commesso nel rappresentare i conci presenti all'interno degli elementi strutturali è, in genere, inferiore a qualche centimetro. Le caratteristiche geometriche (perimetro, area e fattore di forma) e la composizione litologica dei conci osservati in facciata sono state univocamente archiviate in un database relazionale, associato alla base grafica vettoriale che contiene le informazioni spaziali.

I LITOTIPI IDENTIFICATI

Di seguito sono elencati i vari litotipi identificati nella facciata della chiesa di S. Frediano, riportando per ciascuno l'indicazione delle principali caratteristiche litologiche e dei degradi osservati.

Panchina

Calcarene sabbiosa, più o meno compatta, a granulometria variabile da qualche decimo di millimetro a qualche millimetro, localmente ricca di frammenti calcarei organogeni (gusci di Lamellibranchi e Gasteropodi, Alghe calcaree, Foraminiferi, ecc.), visibili ad occhio nudo o con la lente. A volte sono presenti laminazioni incrociate caratteristiche di una facies di spiaggia emersa e di duna. La Panchina è riferibile al Pleistocene superiore (Bartoletti *et al.*, 1985) ed affiora estesamente in prossimità della costa fra Livorno e Rosignano. Macroscopicamente, si presenta di colore ocra, ruvida al tatto e molto porosa. Dai pochi dati riportati in letteratura emerge che la massa volumica apparente è compresa fra 1,64 e 1,71 g/cm³, il coefficiente d'imbibizione d'acqua è prossimo al 20% in peso ed il contenuto in quarzo è variabile dal 3% al 10% in volume (Franzini, 1993).

In condizioni ambientali naturali, la Panchina ha buona resistenza al degrado: non soffre gli sbalzi termici, teme il gelo, solo se intenso, e risente debolmente della dissoluzione da acque piovane battenti.

In ambiente cittadino inquinato, la pietra è maggiormente aggredita e si riscontrano condizioni di maggiore sofferenza. La dissoluzione da piogge acide, ad esempio, procede piuttosto velocemente, con aumento di ruvidità della superficie esposta o, più frequentemente, con la formazione di un deposito pellicolare superficiale, di colore marrone scuro, a volte variamente caratterizzato da tonalità rossastre per la presenza di depositi di idrossidi di ferro. La scabrosità della pietra facilita, inoltre, l'accumulo di particolato atmosferico con formazione di depositi più o meno spessi. Quest'effetto diventa particolarmente intenso nelle zone protette dal dilavamento della pioggia battente, per esempio nei sottosquadri, dove sono presenti croste nere, composte di gesso e calcite. Nei casi peggiori, la sovrapposizione dei residui di dissoluzione e di quelli di apporto esterno può generare strati

superficiali, neri e resistenti, che tendono ad obliterare la scabrosità superficiale della pietra.

Infine, è necessario ricordare che, talvolta, il singolo blocco di Panchina messo in opera può presentare delle porzioni caratterizzate da scarsa cementazione che devono essere considerate come veri e propri difetti della pietra. Queste porzioni poco cementate tendono, spontaneamente o per effetto della circolazione d'acqua all'interno della pietra, a ridursi in polvere facilmente asportabile, generando ampie cavità.

Con una certa frequenza si riscontrano sui conci di Panchina residui di stuccature eseguite con malta a calce e sabbia fine. Nel caso in cui le stuccature abbiano interessato le cavità sopra descritte, queste sono parzialmente riempite di materiale ocreo, situazione che sembrerebbe indicare un'esecuzione precoce delle stuccature, di poco successive alla messa in opera della Panchina stessa.

L'impiego della Panchina a Pisa risale ai tempi romani. Ha trovato ampia utilizzazione in epoca medioevale, particolarmente negli edifici più antichi, sino alla metà circa del XII secolo (Franzini, 2003). In seguito il suo impiego diventa sporadico. Fra le motivazioni del grande impiego della Panchina nelle costruzioni medievali più antiche (S. Frediano, S. Zeno, mura medioevali nella zona di Porta del Leone, ecc.) sembrano importanti la facilità d'estrazione e di lavorazione di questo litotipo e la possibilità di trasporto, dalle cave a Pisa, interamente per via d'acqua.

La Panchina, per la facile lavorabilità è stata comunemente utilizzata per preparare conci di forme complesse, quali quelli richiesti per costruire archi o volte, ad esempio, le voltine dei loggiati della *Torre pendente* di Pisa, dal II al VII ordine.

Marmi

Sono presenti numerose varietà di marmi bianchi, distinguibili tra loro per differenti caratteristiche macroscopiche (tessitura, granulometria ed ornamentazione). Le diverse varietà sono state assegnate a tre diverse provenienze: M.te Pisano, Alpi Apuane e Mediterraneo orientale.

Marmo del Monte Pisano

Marmo a grana fine (variabile da 15 a 50 µm), caratterizzato da colore variabile da bianco-grigio a tonalità avorio con ornamentazione netta ed evidente, sottili vene grigie e, talvolta, gialle. Le parti dolomitiche della roccia, per la maggiore resistenza alla dissoluzione della dolomite rispetto alla calcite, sono in rilievo nei conci esposti alla pioggia battente o percolante, così da evidenziare sulla superficie della pietra noduli e venature, spesso contorte. Sostanzialmente questa tipologia di marmo è priva di traslucidità.

In base ai caratteri macroscopici osservati, il marmo in oggetto è riferibile al marmo del M.te Pisano, noto con il nome di marmo di S. Giuliano o con quello di marmo di Santa Maria del Giudice, rispettivamente, nei versanti pisano e lucchese; nella letteratura geologica questa formazione è indicata con il termine di «Calcere ceroidi» ed è attribuita all'Hettangiano (Giannini & Nardi, 1967; Rau & Tongiorgi, 1974).

Questa roccia è stata ampiamente utilizzata nell'edilizia religiosa pisana d'epoca medievale (Franzini, 1993; Franzini & Lezzerini, 2003) e le principali caratteristiche sono: massa volumica apparente variabile da 2,67 a 2,69 g/cm³, coefficiente d'imbibizione d'acqua variabile da 0,1 a 0,3% in peso, dolomite sempre presente, in quantità variabile da 0,5 a 8% in peso (Franzini & Lezzerini, 2003).

Negli elementi in opera nella facciata della chiesa di S. Frediano, la predominanza di tonalità di colore grigio e bianco-freddo fa propendere per una loro provenienza dalle pendici del Monte Torretta, a NE del paese di S. Giuliano Terme.

Il degrado degli elementi di marmo del M.te Pisano nelle bozze del paramento è generalmente modesto (soprattutto effetti di dissoluzione dovuta ad acque piovane) e, solo raramente, sono stati osservati fenomeni di degrado a «marmo cotto».

Marmi apuani

Sono stati inclusi in questa categoria i marmi a grana media (variabile da 150 a 400 µm), di colore dal bianco freddo all'avorio chiaro. L'ornamentazione, quando presente, è caratterizzata da vene e macchie sfumate, di colore grigio o giallo. La traslucidità è variabile, da varietà a varietà, e diminuisce sia a causa del degrado meccanico dovuto alla lavorazione a scalpello sia per degrado termico del materiale.

Le caratteristiche granulometriche e l'aspetto macroscopico complessivo, compresa l'ornamentazione, consentono di assegnare questi marmi al bacino marmifero delle Alpi Apuane. La variabilità di grana e di colori, osservati negli elementi in opera nella facciata di S. Frediano, indica sicuramente una provenienza da più centri d'estrazione che, tuttavia, non sono stati individuati con precisione.

Lo stato di degrado è molto variabile, con bozze perfettamente conservate ed elementi, invece, che hanno ormai perso quasi totalmente la loro coesione.

I due grandi blocchi in basso, sul lato destro del portale di destra, caratterizzati da grana di circa 0,3 mm, tessitura granoblastica, colore avorio chiaro, traslucidi e totalmente privi d'ogni ornamentazione, non sembrano provenire dal bacino marmifero apuano. In Pisa, presenta analoghe caratteristiche il marmo dei pannelli del pulpito di Nicola Pisano, conservato nel Battistero.

Marmi orientali

Sono stati compresi in questa categoria diverse varietà di marmi a grana grossa (> 500 µm). La più comune è tipicamente di colore bianco-freddo, con venature subparallele di colore grigio-chiaro, tessitura usualmente granoblastica e dimensione della grana tipicamente fra 1 e 1,2 mm. Meno comune è una varietà a grana più fine (0,5-0,6 mm), tessitura intermedia, debolmente orientata e brecciata, con sfumature di colore rossastro. Il loro stato di conservazione è piuttosto scadente dato che, spesso, sono evidenti intensi fenomeni di degrado a «marmo cotto», scarsa coesione e notevoli spessori di croste nere.

Calcari neri

Sono riuniti in questa categoria calcari, calcari oolitici e calcareniti di colore nero, con alterazione superficiale di colore grigio-chiaro, in alcuni casi bianco-sporco. I diversi litotipi osservati sono riconducibili alle formazioni dei «Calcari e marne a Rhaetavicula contorta» e del «Portoro» (quest'ultimo caratterizzato dalla tipica vena dolomitica giallastra), appartenenti alle formazioni della Falda Toscana.

In prossimità della città di Pisa, affioramenti di questi litotipi sono presenti sia nei Monti d'Oltre Serchio sia nel Monte Pisano, da Caprona ad Uliveto Terme. Quest'ultima località è preferita, come provenienza dei materiali impiegati in S. Frediano, tenuto conto che è documentato un loro impiego anche in altri edifici contemporanei (S. Giulia di Caprona e San Paolo a Ripa d'Arno in Pisa). L'affioramento è, inoltre, contiguo a quello di Breccia di Caprona (impiegato per le Case torre) e vicino alle cave di Crespignano, dalle quali sono state estratte le quarziti, ampiamente utilizzate a Pisa in tutto il medioevo.

Breccie calcaree

Sono riuniti in questa categoria una serie di litotipi costituiti da calcite dominante, con dolomite più o meno abbondante, ed appartenenti a diverse formazioni geologiche affioranti sul M.te Pisano. In particolare sono stati osservati «Grezzoni» e quantità minori di «Breccia di Caprona» e di «Breccia d'Agnano». Si tratta di litotipi con ottime (Grezzoni e Breccia di Caprona) o buone (Breccia d'Agnano) proprietà fisico-meccaniche e resistenza al degrado, impiegati nell'edilizia pisana dal medioevo sino alla metà del XX secolo (Franzini & Lezzerini, 2002).

Quarziti

Sono le quarziti verdi e bianco-rosa del Carnico, appartenenti alla formazione delle «Quarziti di Monte Serra» (Rau & Tongiorgi, 1974).

Queste rocce, molto resistenti al degrado (Franzini *et al.*, 2001), sono state impiegate in Pisa ed in tutto il territorio attorno al Monte Pisano, soprattutto nell'edilizia civile (Case torre) e in quella religiosa (San Sepolcro in Pisa, Pievi di Vicopisano e di Cascina, ecc.).

Arenaria

Un limitatissimo numero di conci di modeste dimensioni, con ogni verosimiglianza di sostituzione, è realizzato con un'arenaria a cemento argilloso, a grana media, di colore grigio, riferibile alla formazione del «Macigno» (arenaria o grovacca oligocenica della Serie Toscana non metamorfica).

Granito

È il classico monzogranito dell'Isola d'Elba, impiegato in edilizia dai tempi romani fino ad oggi. Un solo elemento è presente in S. Frediano e presenta perdita di coesione, con scagliature superficiali e caduta di materiale.

Tab. 1 - Mappatura delle pietre presenti nella facciata della chiesa di S. Frediano in Pisa.

Materiale	I Ordine			II Ordine			III Ordine			I-III Ordine					
	Conci		Area	Conci		Area	Conci		Area	Conci		Area			
	n.	%	m ²	n.	%	m ²	n.	%	m ²	n.	%	m ²			
Calcarenite	694	84,9	71,9472	72,1	69,9	37,6373	82,8	141	53,4	11,6567	48,0	1160	74,9	121,2412	71,5
Marmi apuani	79	9,6	12,9555	13,0	4,1	1,0515	2,3	8	3,0	0,3761	1,6	106	6,8	14,3830	8,5
Marmo M.te Pisano	19	2,3	3,8205	3,8	12,5	3,4253	7,5	-	-	-	-	77	5,0	7,2458	4,3
Marmi orientali	14	1,7	9,0441	9,1	-	-	-	-	-	-	-	14	0,9	9,0441	5,3
Calcari neri	1	0,1	0,4671	0,5	12,5	2,5905	5,7	4	1,5	0,2189	0,9	63	4,1	3,2766	1,9
Breccie calcaree	3	0,4	0,3118	0,3	0,2	0,0120	0,0	59	22,3	6,7024	27,6	63	4,1	7,0263	4,1
Quarziti	2	0,2	0,2340	0,2	0,6	0,7359	1,6	40	15,2	4,8933	20,1	45	2,9	5,8632	3,5
Arenaria	-	-	-	-	-	-	-	2	0,8	0,0562	0,2	2	0,1	0,0562	<0,1
Granito	1	0,1	0,6367	0,6	-	-	-	-	-	-	-	1	0,1	0,6367	0,4
Muratura	6	0,7	0,4158	0,4	0,2	0,0067	<0,1	10	3,8	0,3908	1,6	17	1,1	0,8133	0,5
Totale	819		99,8327		465	45,4592		264		24,2943		1548		169,5863	

Nel calcolo dell'area % le superfici spettanti alla copertura dei tetti, alle prese d'aria del II ordine ed alle aperture dei portali di ingresso e della bifora centrale non sono state considerate.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

L'analisi dei dati raccolti evidenzia che la superficie della facciata di S. Frediano (circa 170 m², non considerando la copertura dei tetti, le due prese d'aria circolari del II ordine e le aperture dei tre portali d'ingresso e della bifora centrale) è stata realizzata con 1548 conci di varia natura (Tab. 1). I litotipi utilizzati, in ordine d'abbondanza (espressa come superficie %), sono: calcarenite (71,5%), marmi di varia provenienza (18,1%), brecce calcaree (4,1%), quarziti (3,5%), calcari neri (1,9%) ed altri materiali litici o litoidi (0,9%, arenaria, granito e tamponamenti in muratura).

Dall'esame dei dati relativi a ciascuno dei tre ordini (Tab. 1) nei quali può essere suddivisa la facciata della chiesa di San Frediano ed osservando la mappa di distribuzione dei materiali (Fig. 1 e Fig. 2A), ottenuta attribuendo a ciascun materiale individuato un differente tematismo, è possibile precisare che: a) la calcarenite è sempre il litotipo più utilizzato (72,1% nel I ordine, 82,8% nel II ordine e 48,0% nel III ordine); b) i marmi decrescono sia in numero di conci sia come area percento procedendo dal I al III ordine (complessivamente i marmi costituiscono il 25,9% della superficie del I ordine, il 9,8% di quella del II ordine e soltanto 1,6% di quella del III ordine); c) i calcari neri

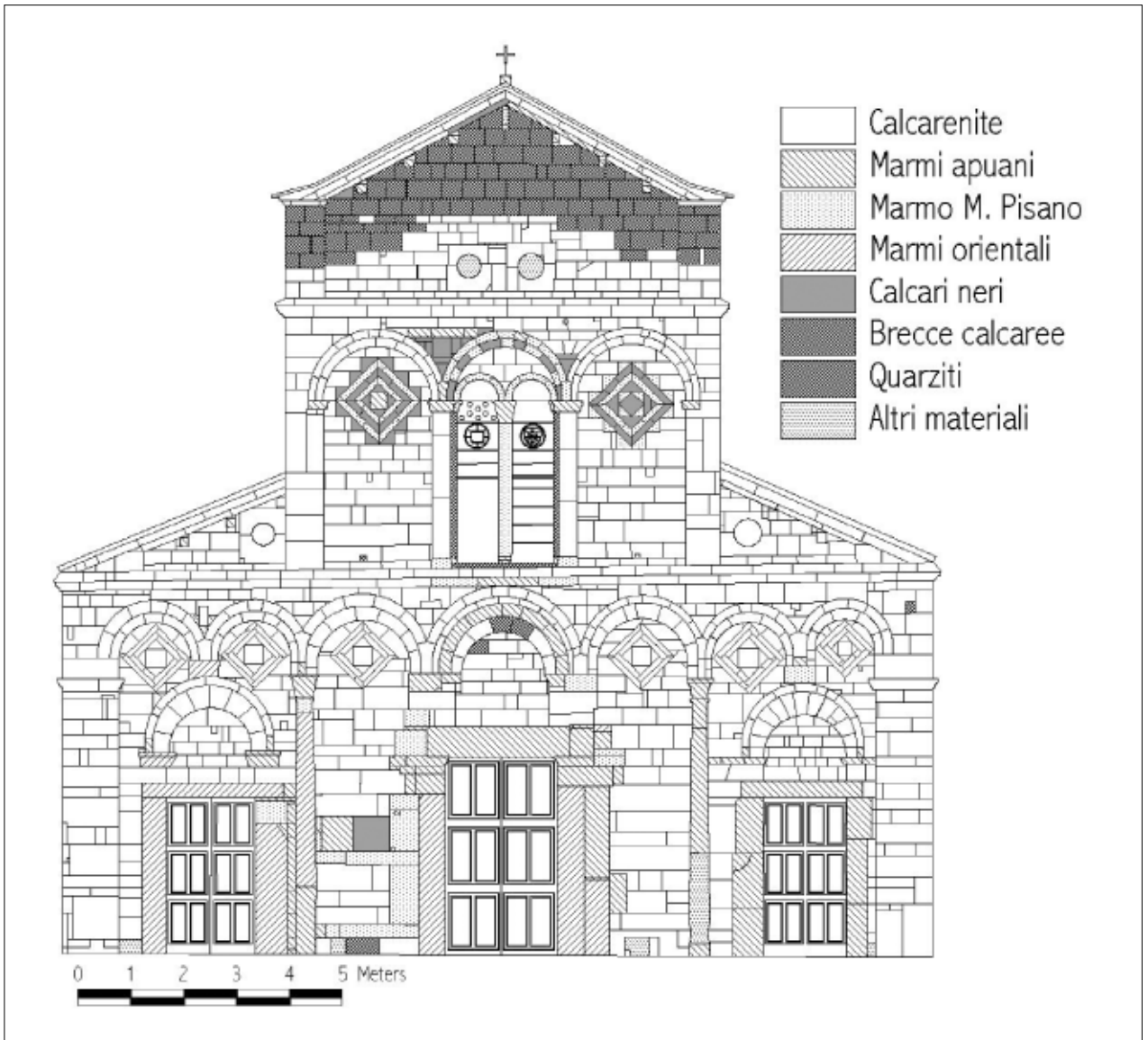


Fig. 1 - Mappa dei materiali utilizzati nella facciata della chiesa di S. Frediano in Pisa (il rilievo architettonico quotato è stato realizzato dall'Arch. Sandro Catassi). Nella categoria «Altri materiali» sono stati inseriti i conci di arenaria, di monzogranito ed i tamponamenti in muratura.

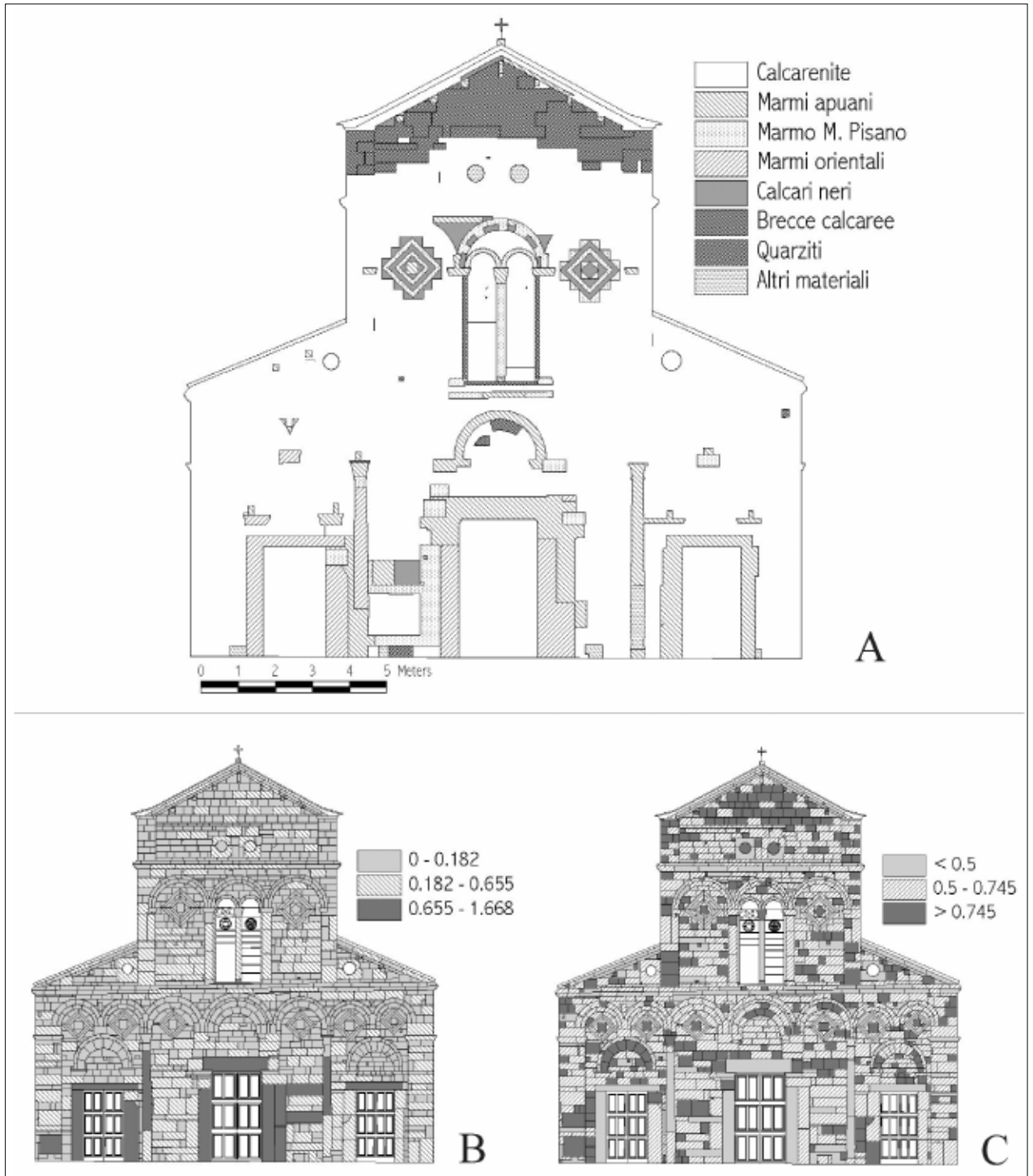


Fig. 2 - Facciata della chiesa di San Frediano in Pisa: A) Mappa semplificata dei materiali utilizzati, ottenuta per fusione dei conci costituiti da uno stesso materiale; B) Mappa delle aree dei conci; C) Mappa del fattore di forma dei conci. Per come è stato definito il fattore di forma ($FF = 4 \pi \text{ Area/Perimetro}^2$), i conci di forma rettangolare con rapporto dei lati compreso tra 1:4,03538 ($FF = 0,5$) e 1:1,58664 ($FF = 0,745$) sono rappresentati nella classe centrale.

sono limitatamente utilizzati nel I e III ordine mentre trovano un più ampio impiego nel II ordine (58 conci

corrispondenti al 5,7% dell'area complessiva del II ordine); d) le breccie calcaree e le quarziti sono scarsa-

Tab. 2 - Perimetro, area e fattore di forma dei conci presenti nel I, II, III ordine e nell'intera facciata della chiesa di S. Frediano in Pisa.

Materiale	n.	Perimetro (m)			Area (m ²)			Fattore di forma*		
		min.	max	media	min.	max	media	min.	max	media
Calcarenite	694	0,1586	- 4,6977	1,3462	0,0016	- 0,7480	0,1037	0,172	- 0,812	0,621
Marmi apuani	79	0,2767	- 6,6034	1,5449	0,0033	- 1,5940	0,1640	0,269	- 0,804	0,625
Marmo M.te Pisano	19	0,8116	- 3,5296	1,9447	0,0285	- 0,6087	0,2011	0,399	- 0,785	0,610
Marmi orientali	14	0,3392	- 7,4450	3,7725	0,0070	- 1,6684	0,6460	0,225	- 0,760	0,440
Calcari neri	1	2,7350	- 2,7350	-	0,4671	- 0,4671	-	0,785	- 0,785	-
Brecce calcaree	3	1,1993	- 1,3946	1,3131	0,0813	- 0,1188	0,1094	0,710	- 0,776	0,751
Quarziti	2	0,7875	- 1,8800	1,3338	0,0387	- 0,1953	0,1170	0,694	- 0,784	0,739
Arenaria	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Granito	1	4,2072	- 4,2072	-	0,6369	- 0,6369	-	0,452	- 0,452	-
Muratura	6	0,2400	- 1,6365	0,9523	0,0024	- 0,1557	0,0693	0,524	- 0,783	0,705
I Ordine	819	0,1586	- 7,4450	1,4232	0,0016	- 1,6684	0,1219	0,172	- 0,812	0,619
Calcarenite	325	0,1795	- 4,0138	1,4502	0,0012	- 0,6547	0,1158	0,184	- 0,799	0,610
Marmi apuani	19	0,3916	- 1,6400	0,9599	0,0093	- 0,1337	0,0553	0,437	- 0,785	0,654
Marmo M.te Pisano	58	0,3799	- 5,5494	1,1515	0,0062	- 0,6311	0,0591	0,258	- 0,747	0,538
Marmi orientali	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcari neri	58	0,2769	- 1,7179	0,9797	0,0041	- 0,1318	0,0447	0,365	- 0,785	0,561
Brecce calcaree	1	0,4408	- 0,4408	-	0,0120	- 0,0120	-	0,779	- 0,779	-
Quarziti	3	4,1010	- 5,7161	5,1513	0,1620	- 0,3027	0,2453	0,107	- 0,121	0,115
Arenaria	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Granito	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muratura	1	0,6630	- 0,6630	-	0,0068	- 0,0068	-	0,191	- 0,191	-
II Ordine	465	0,1795	- 5,7161	1,3543	0,0012	- 0,6547	0,0978	0,107	- 0,799	0,593
Calcarenite	141	0,1940	- 4,3918	1,2534	0,0018	- 0,3082	0,0827	0,185	- 0,785	0,597
Marmi apuani	8	0,5400	- 3,9088	1,0737	0,0180	- 0,1878	0,0470	0,154	- 0,785	0,675
Marmo M.te Pisano	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marmi orientali	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcari neri	4	0,1807	- 2,7905	1,2659	0,0018	- 0,1307	0,0547	0,211	- 0,712	0,468
Brecce calcaree	59	0,4211	- 2,0201	1,3581	0,0068	- 0,2368	0,1136	0,437	- 0,785	0,728
Quarziti	40	0,2734	- 2,2885	1,4305	0,0028	- 0,2480	0,1223	0,342	- 0,785	0,695
Arenaria	2	0,7487	- 0,8027	0,7757	0,0224	- 0,0338	0,0281	0,503	- 0,658	0,580
Granito	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Muratura	10	0,2251	- 1,5396	0,7032	0,0024	- 0,1886	0,0391	0,127	- 1,000	0,430
III Ordine	264	0,1807	- 4,3918	1,2730	0,0018	- 0,3082	0,0920	0,127	- 1,000	0,635
Calcarenite	1160	0,1586	- 4,6977	1,3641	0,0012	- 0,7480	0,1045	0,172	- 0,812	0,615
Marmi apuani	106	0,2767	- 6,6034	1,4072	0,0033	- 1,5940	0,1357	0,154	- 0,804	0,634
Marmo M.te Pisano	77	0,3799	- 5,5449	1,3473	0,0062	- 0,6311	0,0941	0,258	- 0,785	0,556
Marmi orientali	14	0,3392	- 7,4450	3,7725	0,0070	- 1,6684	0,6460	0,225	- 0,760	0,440
Calcari neri	63	0,1807	- 2,7905	1,0258	0,0018	- 0,4671	0,0520	0,211	- 0,785	0,558
Brecce calcaree	63	0,4211	- 2,0201	1,3374	0,0068	- 0,2368	0,1115	0,437	- 0,785	0,730
Quarziti	45	0,2734	- 5,7161	1,6742	0,0028	- 0,3027	0,1303	0,107	- 0,785	0,658
Arenaria	2	0,7487	- 0,8027	0,7757	0,0224	- 0,0338	0,0281	0,503	- 0,658	0,580
Granito	1	4,2072	- 4,2072	-	0,6367	- 0,6367	-	0,465	- 0,465	-
Muratura	17	0,2251	- 1,6365	0,7888	0,0024	- 0,1886	0,0478	0,127	- 1,000	0,513
I-III Ordine	1548	0,1586	- 7,4450	1,3769	0,0012	- 1,6684	0,1095	0,107	- 1,000	0,614

* Fattore di forma = $4 \pi \text{ Area} / \text{Perimetro}^2$

mente presenti nel I e II ordine mentre costituiscono poco meno della metà dell'intera superficie del III ordine (99 conci corrispondenti al 47,7% dell'area complessiva del III ordine); e) soltanto un concio di granito e due conci di arenaria sono presenti rispettivamente nel I e nel III ordine; f) i tamponamenti in muratura sono più numerosi nel III ordine (10 elementi corrispondenti a 1,6% dell'area complessiva del III ordine). In Tabella 2 sono riportati gli intervalli di variazione ed il valore medio del perimetro, dell'area e del fattore di

forma dei conci di ciascun materiale osservato rispettivamente nel I, II, III ordine e nell'intera facciata della chiesa di S. Frediano.

Il perimetro e l'area dei conci variano, rispettivamente, da valori minimi di 0,1586 m e 0,0012 m² (calcarenite) a valori massimi di 7,4450 m e 1,6684 m² (marmo orientale). L'area media del litotipo più frequente (1.160 conci con area complessiva di 121 m², corrispondente a circa 2/3 dell'intera superficie della facciata), la calcarenite sabbiosa (Panchina), è pari a cir-

ca 10 dm². I conci dell'intera facciata sono stati raggruppati, in base alle dimensioni, in tre classi (Fig. 2B): i conci di maggiore dimensione sono localizzati nel I ordine della facciata (stipiti, architravi e colonne) mentre quelli di dimensione minore sono presenti, soprattutto, nelle ornamentazioni e nelle cornici degli archi ciechi sia del I sia del II ordine e, solo raramente, costituiscono interi ricorsi.

Il fattore di forma dei conci di ciascun litotipo osservato nella facciata della chiesa di S. Frediano (Tabella 2) è stato calcolato, come usualmente avviene in stereologia (Russ, 1986), con la seguente relazione: Fattore di forma = $4 \pi \text{Area/Perimetro}^2$.

Per come è stato definito, il fattore di forma può assumere valori compresi tra 0 e 1. Il valore massimo del fattore di forma corrisponde ad un cerchio perfetto mentre valori minori di 1 sono caratteristici di oggetti con forma più irregolare (i conci di forma quadrata hanno valori del fattore di forma pari a 0,785 mentre i conci di forma rettangolare sono caratterizzati da valori minori, tanto più piccoli quanto più grande è la differenza tra la lunghezza dei loro lati). Osservando i dati medi del fattore di forma, riportati nell'ultima colonna della Tabella 2 emerge che le superfici dei conci esposte in facciata hanno prevalentemente forma rettangolare, più accentuata nei conci di marmo orientale (valore medio del fattore di forma pari a 0,440) e meno accentuata nei conci di brecce calcaree (valore medio del fattore di forma pari a 0,730). La disposizione in facciata dei conci (Fig. 2C) di forma approssimativamente quadrata (in grigio scuro) o fortemente allungata (in grigio chiaro) sembra dipendere dalla funzione strutturale più che dal materiale o dal momento costruttivo.

Infine, dall'esame dei materiali impiegati nella facciata della chiesa di S. Frediano ed in base alla loro distribuzione (Fig. 1 e Fig. 2A) si possono trarre alcune considerazioni conclusive:

- la facciata della chiesa di S. Frediano è stata realizzata prevalentemente con litotipi locali. Il litotipo più abbondante è la calcarenite («Panchina»), lavorata in conci di dimensione variabile, con superficie esposta in facciata prevalentemente di forma rettangolare, disposti in ricorsi di altezza differente che si susseguono senza un'apparente sequenza ordinata;
- nel I ordine della facciata sono presenti marmi di varia provenienza, alcuni sicuramente di reimpiego (architrave del portone centrale), utilizzati come stipiti o architravi sia nel portale d'ingresso sia nei due portali laterali;
- nel timpano, rialzato nella prima metà del XIX sec., come testimonia un'iscrizione che indica la data del

1850, i materiali litici di nuovo impiego sono costituiti da brecce calcaree e quarziti provenienti dalle cave aperte sulle pendici meridionali del Monte Pisano;

- negli archi ciechi del II ordine della facciata della chiesa di S. Frediano sono presenti elementi decorativi tipici dello stile romanico-pisano, costituiti dall'alternanza di marmi e calcari neri, in ottimo stato di conservazione. Elementi decorativi analoghi presenti nel I ordine, in prossimità della prima cornice marcapiano, sono stati realizzati, invece, con impiego di un solo litotipo, la calcarenite;
- la bifora centrale, realizzata con litotipi di provenienza locale (marmo e quarzite), appare anch'essa in ottimo stato di conservazione e, pertanto, s'ipotizza per gli elementi decorativi della porzione centrale della facciata una realizzazione piuttosto recente.

RINGRAZIAMENTI

L'Autore desidera ringraziare: l'Arch. Sandro Catassi, per avere fornito il rilievo architettonico quotato della facciata; il dott. Carlo Meletti e la dott.ssa Marina Bisson, per i preziosi consigli sull'utilizzo del software ESRI - ArcView GIS 3.2a. Infine, un ringraziamento particolare va al prof. Marco Franzini che, oltre ad aver partecipato alla mappatura dei materiali della facciata di S. Frediano, ha favorito la realizzazione di questo testo.

BIBLIOGRAFIA

- Bartoletti E., Bossio A., Esteban M., Mazzanti R., Mazzei R., Salvadorini G., Sanesi G., Squarci P., 1985. Studio geologico del territorio comunale di Rosignano Marittimo in relazione alla carta geologica alla scala 1:25.000. *Quad. Mus. Stor. Nat. Livorno* 6, suppl. 1: 33-127.
- Franzini M., 2003. Le pietre toscane nell'edilizia medievale della città di Pisa. *Mem. Soc. Geol. It.* 49: 233-244.
- Franzini M., Lezzerini M., Mannella L., 2001. The stones of medieval buildings in Pisa and Lucca (western Tuscany, Italy). 3 - Green and white-pink quartzites from Mt. Pisano. *Eur. J. Mineral.* 13: 187-195.
- Franzini M., Lezzerini M., Marandola F., 2002. The stones of medieval buildings in Pisa and Lucca provinces (western Tuscany). 4 - «Agnano» breccias from Mt. Pisano. *Eur. J. Mineral.* 14: 447-451.
- Franzini M., Lezzerini M., 2003. The stones of medieval buildings in Pisa and Lucca provinces (western Tuscany, Italy). 1 - The Monte Pisano marble. *Eur. J. Mineral.* 15: 217-224.
- Giannini E., Nardi R., 1965. Geologia della zona nord-occidentale del Monte Pisano e dei Monti d'Oltre Serchio (Prov. di Pisa e Lucca). *Boll. Soc. Geol. It.* 84: 198-270.
- Rau A., Tongiorgi M., 1974. Geologia dei Monti Pisani a sud-est della Valle del Guappero. *Mem. Soc. Geol. It.* 8: 227-408.
- Russ J.C., 1986. *Practical stereology*. Plenum Press, New York.