Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
124° (2006), Vol. XXX, P. II, pp. 205-248

ROCCO LAVIANO *

I materiali lapidei pugliesi: loro utilizzo ed alterazione nei Beni Culturali

1. Introduzione

La Puglia, nelle sue linee geologiche essenziali, risulta costituita da rocce carbonatiche a volte anche economicamente importanti per le loro varie applicazioni sia nel campo edilizio che industriale. Nella regione esistono inoltre eccellenti esempi di stretto legame fra attività antropica ed utilizzazione del suolo, è pertanto facile incontrare molte testimonianze abitative o di culto, da primitive a imponenti monumenti, ottenute utilizzando, nella maniera più utile ed appropriata, la roccia carbonatica affiorante nel territorio.

Circa i calcari si hanno esempi di utilizzo sin dalla preistoria con i numerosi dolmen (Fig. 1) e menhir (Fig. 2) sparsi su tutta la regione (79 menhir e 23 dolmen). Passando invece a tempi più recenti l'utilizzo dei calcari pugliesi assumeva una connotazione di produzione "industriale" soprattutto a partire dal Medioevo, allorquando l'edilizia civile, militare e religiosa riceveva un grande impulso, in particolare fra il XII e il XV sec. d.C. ad opera di Normanni, Svevi e Angioini. Tipici della Puglia, nonché caratteristici esempi di architettura popolare, sono i "muri a secco" (Fig. 3), i "trulli" (Fig. 4) o le "pajare" del Salento (Fig. 5); tali abitazioni rurali realizzate in pietra a secco testimoniano un uso dei calcari strettamente connesso all'attività agricola.

Anche la pietra calcarenitica è stata impiegata in importanti monumenti: mura, castelli, torri e chiese. In particolare le prime testimonianze di coltivazione di cave in calcarenite plio-pleistocenica risalgono al IV-V secolo a.C., come nel caso delle mura di cinta di Monte Sannace (Gioia del Colle) (Baldassarre & De Marco, 1990). Tra il XVII e il XVIII sec. invece, il Barocco leccese ebbe la sua massima diffusione

* Dipartimento Geomineralogico, Università degli Studi di Bari, Campus Universitario, Via E. Orabona 4, 70125 Bari. E-mail: rocco.laviano@geomin.uniba.it

Fig. 1. Dolmen "La chianca" di Bisceglie (BA).

nel Salento, grazie all'impiego della tenera "Pietra Leccese", calcarenite miocenica affiorante nel Salento, materiale litico prezioso ed indispensabile per lo sviluppo di questo stile.

Bisogna invece attendere il novecento perché i materiali lapidei pugliesi, sebbene vi siano degli esempi storici di un loro utilizzo già in precedenza, ricevano un effettivo riconoscimento quali materiali ornamentali con conseguente relativa commercializzazione nazionale ed internazionale (AA.VV., 1982).

2. Cenni sulla geologia delle rocce carbonatiche pugliesi e loro impiego

In Puglia, all'interno del sistema tettonico appenninico-dinarico, il promontorio del Gargano, la dorsale murgiana e la penisola salentina rappresentano la parte affiorante della Placca Apula (Fig. 6) costituente il dominio di avampaese (Ricchetti, 1980). Questa è costituita da uno spessore di oltre 3.000 metri di rocce sedimentarie di età mesozoica e ceno-neozoica (Ricchetti, 1975); il Mesozoico rappresenta la base della successione stratigrafica, che inizia con una formazione evaporitica (gessi ed anidridi con calcari) di cui si conosce in affioramento il piccolo lembo diapirico della Punta delle Pietre Nere (Lesina, Foggia) appartenente al Trias supe-

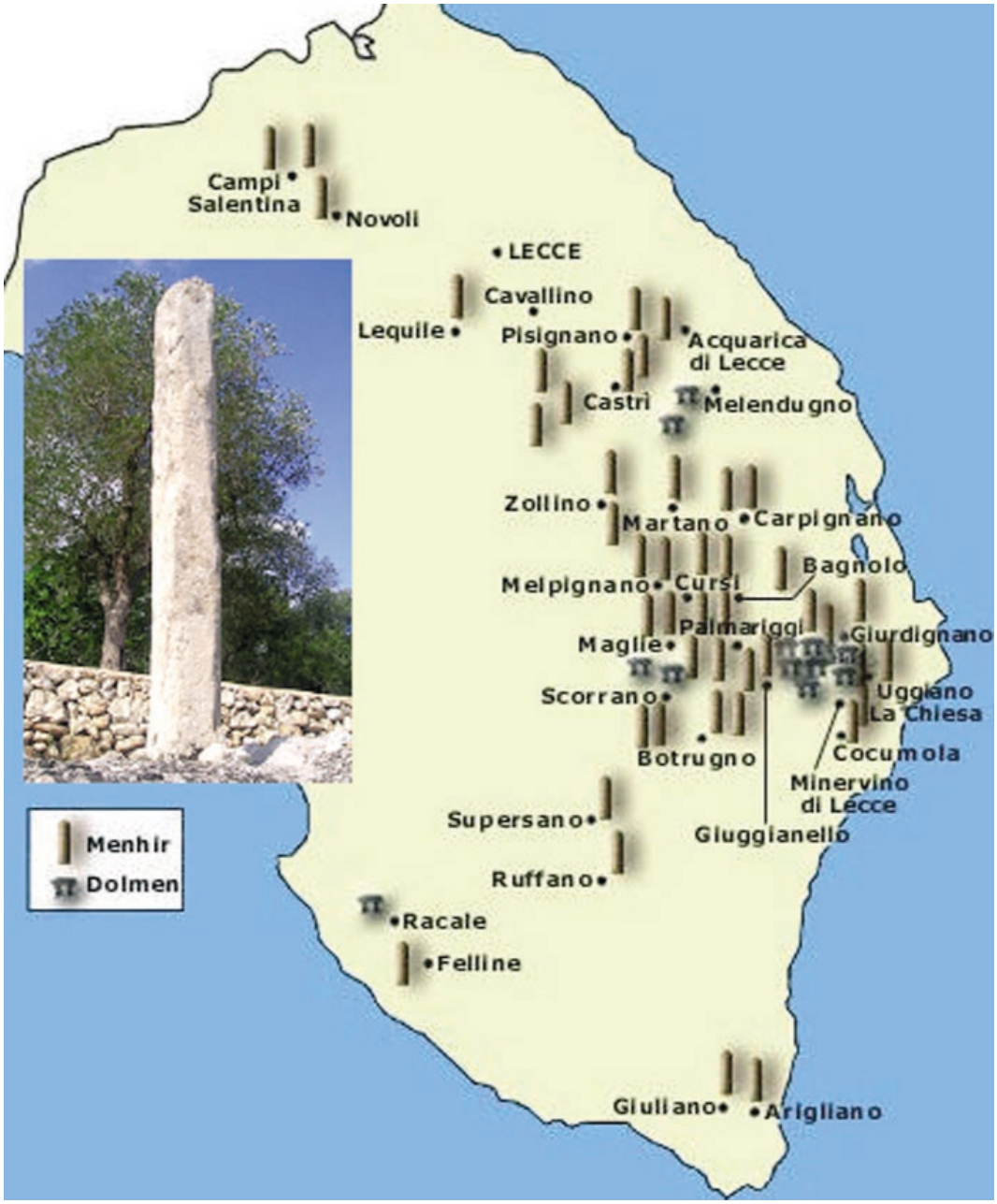

Fig. 2. Carta dei dolmen e menhir presenti nella provincia di Lecce (nel riquadro un esempio di menhir).

Fig. 3. Esempio di “muro a secco paralupi” in Puglia.

Fig. 4. Un esempio delle varie tipologie di trulli in Puglia.

Fig. 5. La pajara "Trausceddhu" nel comune di Salve (LE).

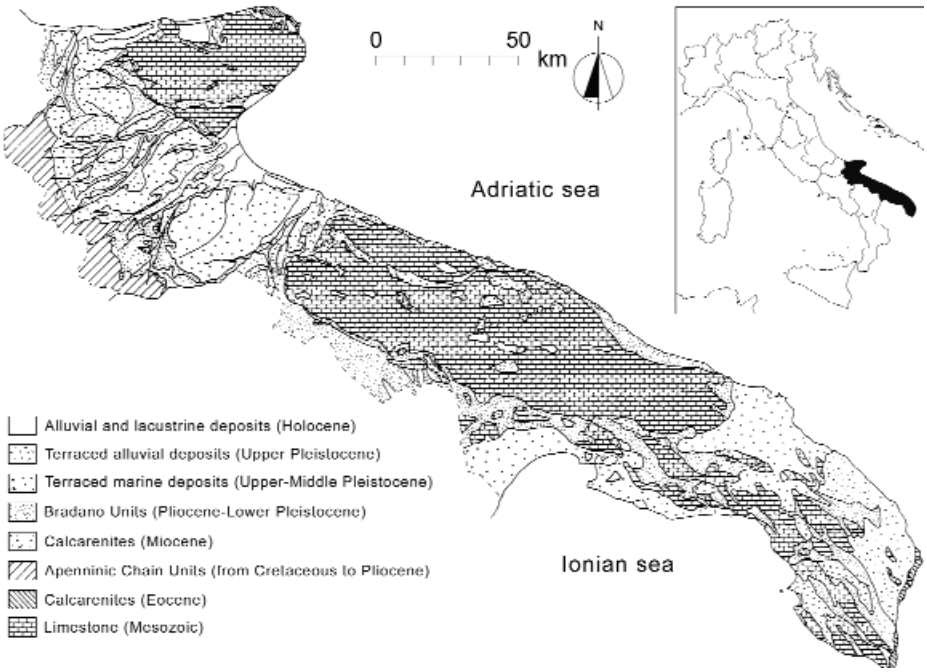

Fig. 6. Carta geologica schematica (Ricchetti, 1994).

riore. Seguono a questa formazione i calcari e le dolomie del Giurassico che costituiscono il nucleo del promontorio garganico. Simili tipi litologici costituiscono anche le rocce del Cretaceo con le quali si chiude la successione mesozoica e alle quali è ascrivibile la maggior parte degli affioramenti del Gargano, delle Murge e delle Serre Salentine.

Completano la successione stratigrafica le rocce del Terziario e del Quaternario, che comprendono: una formazione calcarea (detritico-organogena) poco estesa di età paleogenica (Paleocene-Oligocene), che affiora lungo i bordi orientali del Gargano e del Salento; una formazione calcarenitica del Miocene, nota nel Salento con la denominazione di "Pietra Leccese"; una successione plio-pleistocenica (Fossa Bradanica) con calcareniti (Calcarenite di Gravina), dette localmente "tufo", sabbie ed argille (Argille Subappennine). A questo punto inizia un graduale sollevamento, testimoniato dall'accumulo delle Sabbie di Monte Marano e dal Conglomerato di Irsina; l'emersione proseguirà per il resto del Quaternario favorendo, in particolare lungo la fascia costiera adriatica, l'erosione della gran parte della successione della Fossa Bradanica lasciando il termine più antico: la Calcarenite di Gravina.

Da un punto di vista strettamente geologico, la ragione fondamentale dell'accentramento di cave nelle aree garganiche e murgiane è principalmente dovuta alle favorevoli condizioni di giacitura e spessore degli orizzonti coltivati e nella ricca gamma delle facies che caratterizzano le successioni mesozoiche ivi affioranti. Inoltre, la scarsa deformazione tettonica della parte emersa della Placca Apula rappresenta un importante vantaggio per la qualità dei giacimenti ai fini del loro utilizzo come pietre ornamentali.

Sul territorio pugliese è quindi possibile distinguere una serie di bacini estrattivi (Fig. 7), distribuiti e diversificati sull'intero territorio, differenti per tipologie litologiche, o semplicemente commerciali, di rocce carbonatiche in essi cavati (Eramo & Laviano, 2007).

2.1. *Il bacino estrattivo di Apricena-Poggio Imperiale*

Il territorio all'interno del quale è circoscritto il Bacino estrattivo di Apricena-Poggio Imperiale è ubicato nel settore più occidentale del Promontorio del Gargano (Fig. 7), in provincia di Foggia, e si estende su un'area che comprende i comuni di Poggio Imperiale, Apricena, Lesina e, di recente, anche San Giovanni Rotondo. Le qualità della Pietra di Apricena erano note già nell'Ottocento ad autori come Paltrinieri (1867), che nel suo "Illustrazione geologica dei preziosi marmi e alabastri garganici", tendeva a sostenerne l'estrazione e la commercializzazione.

Le condizioni geologiche del Bacino estrattivo di Apricena-Poggio Imperiale sono determinate dalla presenza di rocce carbonatiche mesozoiche sulle quali poggiano, in trasgressione con discordanza angolare, più successioni clastico-organogene di età cenozoica e quaternaria. La successione rocciosa mesozoica è riferibile alla Formazione geologica denominata "Calcari di S. Giovanni Rotondo", colloca-

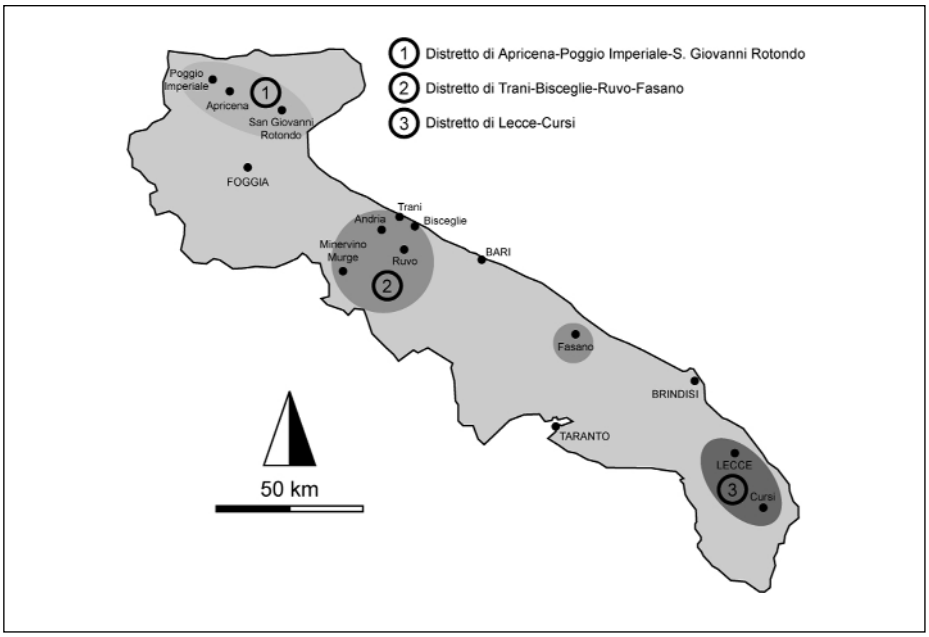

Fig. 7. I principali bacini estrattivi in Puglia.

bile cronologicamente nel Cretaceo inferiore, tra il Berriasiano e l'Aptiano inferiore. La successione, nel complesso, è caratterizzata dalla ripetizione di strati di calcari e di calcari dolomitici, di ambiente peritidale. Sui Calcari di San Giovanni Rotondo giacciono, in trasgressione con discordanza angolare, le "Calcareniti di Apricena" e le "Sabbie di Serracapriola", entrambe cenozoiche (Cremonini et alii, 1971).

Le cave sono state e sono tuttora coltivate a cielo aperto in fossa. Le locali successioni litostratigrafiche vengono indicate con i termini delle principali varietà merceologiche coltivate in ciascuna di esse: "Successione del Fiorito", "Successione del Biancone", "Successione del Serpeggiante".

2.2. *Il bacino estrattivo di Trani-Bisceglie-Ruvo-Fasano*

I calcari dei dintorni di Trani acquisiscono solo nel Novecento, anche se già noti per il loro impiego, la denominazione di "Pietra di Trani". La coltivazione riguarda principalmente la zona di Trani e buona parte delle Murge settentrionali (verso Andria, Barletta, Bisceglie, Corato, Minervino Murge, Castel del Monte e Ruvo di Puglia - Fig. 7); in via subordinata, quella di Fasano, nelle Murge centro-meridionali (Baldassarre *et alii*, 2001). Tuttavia esistono anche altre zone delle Murge, tra le quali Alberobello, Castellana e Gioia del Colle, in cui sono stati episodicamente coltivati dei calcari mesozoici, di inferiore qualità rispetto ai precedenti.

Fra le unità formazionali che affiorano nelle aree oggetto di cavatura si distinguono dalle più antiche alle più recenti, le formazioni del "Calcare di Bari", del "Calcare di Altamura" e della "Calcarenite di Gravina".

Il Calcare di Bari (Valduga, 1965; Ricchetti, 1975) è l'unità formazionale del Cretaceo inferiore e superiore, estesamente affiorante nelle Murge nord-occidentali. È la più antica e la più potente delle formazioni cretacee, anche se la sua base stratigrafica non risulta in affioramento, che costituiscono il Gruppo dei Calcari delle Murge e del Salento. L'altra unità è il "Calcare di Altamura" del Cretaceo superiore che affiora nelle Murge sud-orientali e nel Salento (Ciaranfi *et al.*, 1988). Queste due formazioni sono separate da una lacuna stratigrafica contrassegnata localmente da disconformità, da depositi continentali e fenomeni paleocarsici, comprendente la parte terminale del Cenomaniano e tutto il Turoniano (Luperto Sinni & Reina, 1996).

Il Calcare di Bari è costituito nel complesso da una successione ben stratificata di calcari micritici, di calcari microfossiliferi (foraminiferi bentonici ed alghe calcaree) più raramente con macrofossili (molluschi), di calcari stromatolitici ai quali si intercalano calcari dolomitici. Lo spessore complessivo di questa unità, che copre un intervallo stratigrafico di età compresa tra il Valanginiano p.p. e il Cenomaniano superiore – Turoniano inferiore (?) (Luperto Sinni, 1996), si aggira intorno ai 2.000 m.

Dal punto di vista paleoambientale, questi calcari si sono formati ed accumulati negli ampi e bassi fondali delle estese aree interne della piattaforma carbonatica apula, soggetta a subsidenza compensata da sedimentazione di mare poco profondo (Ciaranfi *et alii*, 1988). Nell'ambito di questa successione sono stati individuati livelli fossiliferi caratterizzati da particolari associazioni a macrofossili (Rudiste) e/o a foraminiferi bentonici, ben definiti sotto l'aspetto bio e cronostratigrafico, considerati "livelli guida". Dal più antico al più recente si distinguono: livello "Toritto" (Turoniano inferiore); livello "Sannicandro" (Cenomaniano superiore); livello "Palese" (Albiano inferiore); livello "Corato" (Aptiano inferiore); livello "Andria" (Valanginiano – Hauteriviano inferiore).

La Calcarenite di Gravina, in gergo denominata "tufo", viene cavata in località Maturano. Si tratta di una biocalcarenite bianco-giallognola a grana da fine a media, contenente bioclasti di Ostreidi, Vermetus, Cardium e Turritella con uno spessore di circa 20 m. Essa è tagliata in blocchetti utilizzati per l'edilizia, mentre la parte con caratteristiche fisico-meccaniche scadenti viene trasformata in "tufina" e utilizzata come inerte.

2.3. *Il bacino estrattivo della Pietra leccese*

La formazione della "Pietra leccese" (Miocene) comprende vari litotipi conosciuti e impiegati sin dall'antichità come pietre da costruzione e ornamentali. Essa è una calcarenite marnosa, organogena, di colore variabile dal bianco-giallastro al giallo-verdastro. Lo scheletro mostra oltre ad una componente calcarea detritica, anche una componente terrigena. La presenza di glauconite dà ad alcune varietà

una colorazione verdastra. Nella successione stratigrafica della "Pietra leccese", sono stati distinti i seguenti tipi litologici, "rudite fosfatica", "calcarenite" tipo "pietra leccese", e "calcarenite glauconitico-fosfatica" (Zezza, 1974a, 1974b). I principali affioramenti di "Pietra leccese" si rinvengono in modo discontinuo nella parte centro-meridionale del Salento. Le varietà litologiche commercializzate hanno caratteristiche fisico- meccaniche, struttura e colore, alquanto differenti. I due maggiori centri estrattivi sono ubicati nel distretto di Lecce e in quello di Cursi (Fig.7). La "Pietra gentile" è la varietà più cavata, che occupa la parte centrale del bacino in cui si è sedimentata la "Pietra leccese", mentre le altre varietà ("Pietra bastarda", "Piromàfo", "Pietra saponara" e "Pietra cucuzzara") sono presenti soprattutto ai margini (Laviano, 1977).

"Pietra gentile": varietà di colore giallo paglierino, a grana omogenea e piuttosto fine, molto tenera e facilmente lavorabile. Affiora nel territorio di Lecce, di Cavallino, e nei dintorni di Corigliano e di Melpignano. È il litotipo più utilizzato, divenuto il materiale lapideo caratteristico del Barocco leccese. A causa della sua porosità e della non buona cementazione risulta poco resistente alle alterazioni causate dagli agenti atmosferici.

"Pietra bastarda" o "Mazzara": varietà a tessitura eterogenea, concrezionata od anche brecciforme, più dura e meno lavorabile delle precedenti. È detta "bastarda" ovvero "Mazzara" a seconda se si trova al letto o al tetto della formazione, rispettivamente. Gli affioramenti sfruttati sono presenti a Melpignano e Martano.

"Pietra saponara": varietà biancastra, molto tenera, e spiccatamente igroscopica. Affiora a Melendugno e sulla strada che da Galatina conduce a Corigliano.

"Pietra di Cursi": varietà molto simile alla "Pietra gentile" da cui si differenzia principalmente per maggiore resistenza agli agenti atmosferici, dovuta ad una più elevata durezza. L'estrazione è limitata al territorio di Cursi.

"Piromàfo": varietà che occupa uno dei livelli più alti della formazione ed è contraddistinta da una grana omogenea e dal caratteristico colore grigio-verdastro per la presenza di abbondante glauconite. Le cave di "Piromàfo" si trovano nei territori di Strudà, Acquarica e Cursi.

3. Impiego delle rocce carbonatiche pugliesi

Gran parte dei diversi litotipi calcarei presenti in Puglia possono essere ammirati nell'architettura storica della regione, alla quale conferiscono suggestivi effetti cromatici e ottime prestazioni tecnologiche che hanno superato la prova del tempo. In tal senso, basti pensare all'uso architettonico e decorativo dei marmi di Puglia nelle cattedrali romaniche, dove si può apprezzarne la lavorabilità e la scolpibilità (Cattedrali di Bitonto, Troia, Ruvo - Fig. 8) o nei castelli federiciani di Castel Del Monte (Fig. 9), Gioia del Colle e Bari, dove spicca l'armonia dei vari litotipi impiegati, nonostante il peso dei secoli. Anche in Salento, l'uso della "Pietra Leccese", necessario per il raffinato decorativismo barocco (Basilica della Santa Croce di

Fig. 8. Cattedrale di Ruvo.

Fig. 9. Castel del Monte (Andria).

Lecce, Fig. 10), ha mostrato di resistere, seppure in maniera minore rispetto ai calcari, alle alterazioni provocate dagli agenti atmosferici. Nella Fig. 11 si possono osservare le caratteristiche forme della "alveolizzazione" su di una colonna della facciata della Cattedrale di Otranto in "Pietra Leccese", causata da all'azione disgregatrice esercitata dalla pressione di cristallizzazione dei sali all'interno dei pori del materiale lapideo e dalla successiva azione del vento.

La caratterizzazione tecnologica delle pietre di Puglia ha messo in evidenza come tali marmi abbiano, in media, una resistenza alla compressione superiore a quella di altri marmi italiani (es. travertino, marmo apuano) e che in taluni casi la resistenza alla flessione mostra valori maggiori rispetto a quello del granito (es. "Bronzetto" di Trani e Apricena). Non è da meno la buona resistenza alle escursioni termiche, che rende possibile l'uso dei marmi pugliesi in varie condizioni climatiche, grazie anche al basso coefficiente di imbibizione che caratterizza la maggior parte di esse.

È da riportare, tra i punti deboli di questi materiali lapidei, la formazione di "croste nere", favorita dal maggiore inquinamento atmosferico in ambiente urbano. Nella Fig. 12 si possono riconoscere gli effetti deleteri delle "croste nere", sia estetici che fisici, sul portale della Cattedrale di Altamura.

Sebbene l'estrazione dei materiali lapidei pugliesi vanti una lunga tradizione, solo nel secondo dopoguerra i bacini estrattivi di Trani, Apricena e Fasano raggiungono dei livelli di produzione tali da poter essere collocati fra i primi posti in Italia. Relativamente al 2002, l'Ufficio Minerario Regionale riporta una produzione annua di 1.500.000 tonnellate, che costituisce circa il 10-15% della produzione nazionale.

Le principali applicazioni delle pietre ornamentali pugliesi riguardano il rivestimento di pareti, pavimenti, piani di appoggio e l'uso come elementi architettonici o ornamentali. A tal proposito, è il caso di citare l'uso del "Bronzetto" opportunamente tagliato in conci ad hoc per la costruzione dei 17 archi portanti dell'Aula liturgica della nuova chiesa di San Pio realizzata a San Giovanni Rotondo (FG), su progetto di Renzo Piano (Fig. 13). Le varietà meno pregiate sono utilizzate nell'edilizia civile e industriale come pietra da costruzione o, come pietra ornamentale, nell'arredo urbano.

Alla parte basale del "Calcare di Altamura" appartengono i calcari laminati (Fig. 14), localmente chiamati "chiancarelle", tradizionalmente impiegati per la costruzione dei *trulli* (Maggiore *et alii*, 1983) o per rivestimenti e pavimentazioni grezze.

È infine il caso di citare, per il suo pregio estetico, l'uso storico della cosiddetta "Breccia corallina" impiegata come pietra ornamentale in alcuni elementi architettonici di Castel del Monte (Andria) (Fig. 15) e di altri monumenti del nord barese. Si tratta di brecce con clasti calcarei eterometrici (tessitura granulo-sostenuta) in una matrice ricca di ossidi e idrossidi di ferro, ascrivibili sia ai depositi di conoide quaternari presenti nel territorio compreso fra Poggiorsini e Montegrosso (Caldara *et alii*, 1988), come a litofacies simili presenti nei "Depositi alluvionali ter-

Fig. 10. Particolare della Chiesa di Santa Croce in Lecce.

Fig. 11. Forme di alveolizzazione sulla facciata della Cattedrale di Otranto.

Fig. 12. Forme di degrado sul portale della Cattedrale di Altamura.

Fig. 13. Chiesa di San Pio in San Giovanni Rotondo.

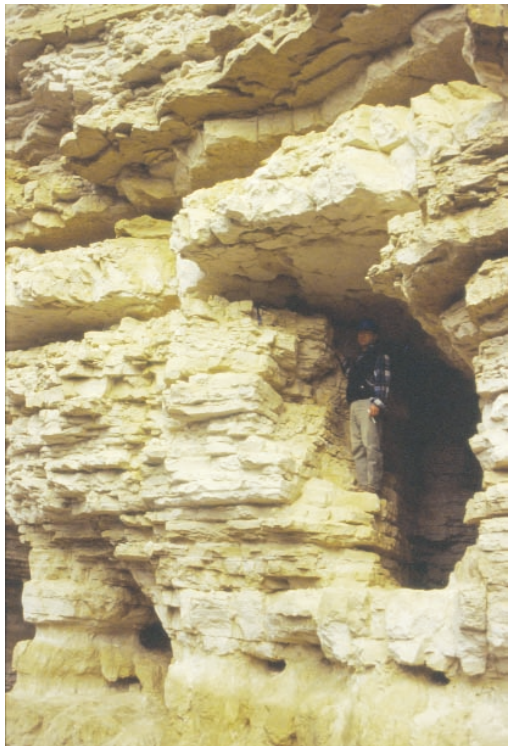

Fig. 14. Calcare laminato (detto a “chiancarelle”).

Fig. 15. Colonna in "breccia a corallina" di Castel del Monte (Andria).

razzati" (Ricchetti *et alii*, in stampa), affioranti lungo il versante centro-meridionale del Gargano, nei dintorni di San Marco in Lamis (FG).

Dove i litotipi sono di peggiore qualità, per diffusi livelli lateritici nella successione stratigrafica e per una maggiore fratturazione tettonica, e rendono pertanto difficile lo sfruttamento dei calcari come pietra ornamentale, essi sono ampiamente impiegati per la produzione di pietrisco o per la produzione di leganti aerei od idraulici.

4. Le metodiche analitiche utilizzate

I campioni citati nel presente lavoro, sono stati analizzati con procedure e tecniche analitiche disponibili presso il Dipartimento Geomineralogico dell'Università degli Studi di Bari. Ogni campione è stato osservato ad occhio nudo, con la lente di ingrandimento, descritto e fotografato. Per ogni campione, quando possibile, è stata realizzata una sezione sottile lucida su cui condurre le indagini petrografiche

e quelle al microscopio elettronico. Gli stessi campioni sono stati finemente macinati per le successive analisi chimiche e diffrattometriche. Per le indagini petrografiche è stato quindi utilizzato un normale microscopio ottico da mineralogia a luce polarizzata trasmessa (MO).

Le analisi chimiche (FRX), elementi maggiori ed in traccia, sono state eseguite con uno spettrometro automatico Philips PW 1800. Gli elementi maggiori sono stati dosati utilizzando un tubo r. X con anodo di Cr alimentato a 70 kV, 30 mA; gli elementi in traccia Rb, Sr, Y, Zr e Nb sono stati dosati utilizzando un tubo r. X ad anodo di Rh alimentato a 80 kV, 35 mA mentre per gli elementi in traccia Ce, La, Ba, Ni, Cr, V sono stati dosati utilizzato un tubo r. X ad anodo di W alimentato a 80 kV, 35 mA. Le intensità r. X sono state convertite in concentrazioni mediante correzione matematica degli effetti di matrice. Due standard internazionali (AGV-1 dell'USGS-USA e NIM-G della NIM-Sud Africa) sono stati analizzati per controllare la bontà dei dati analitici. L'acqua è stata dosata come perdita alla calcinazione (LOI) in muffola a 1.000°C.

Le indagini in microscopia elettronica a scansione sono state condotte su sezioni lucide, ma a volte anche su frammenti di campione integro, preventivamente metallizzati con uno strato di grafite spesso 30nm. La strumentazione utilizzata è un microscopio elettronico a scansione (SEM) della LEO mod. EVO-50XVP. Le microanalisi al SEM sono state eseguite mediante un contatore in dispersione di energia (EDS) con rivelatore al Ge della Oxford-Link equipaggiato con una finestra Super ATW (Super Atmosphere Thin Window) dello spessore di 0,4 mm. Le condizioni di lavoro sono state: 15 kV la tensione di accelerazione degli elettroni e 500 pA la corrente di fascio.

Le analisi mediante diffrazione di raggi X per poveri (PXRD) sono state eseguite con un diffrattometro Philips PW 1710. Le riprese sono state effettuate utilizzando un tubo raggi X con anodo di Cu alimentato a 40 kV, 20 mA. La radiazione r. X primaria è stata filtrata con Ni per poterne utilizzare solo la CuKα. Le riprese diffrattometriche sono state eseguite nelle seguenti condizioni di ripresa: slitta divergente 1°, slitta secondaria 1/2°, velocità di ripresa 1/2° di 2J per minuto.

5. Gli insediamenti rupestri in Puglia: utilizzo dei materiali litoidi e loro stato di conservazione

Gli insediamenti rupestri rappresentano una straordinaria testimonianza della vita civile, religiosa e artistica nell'ambito del territorio pugliese. La geomorfologia del luogo, caratterizzata dalla presenza di lame e gravine ha favorito l'utilizzazione antropica di tali solchi erosivi, lasciando le sue tracce più evidenti nelle case-grotte e nelle chiese-grotte. Gli insediamenti rupestri, infatti, sorgono su diversi livelli lungo i versanti delle lame, il cui alveo veniva sfruttato dall'uomo con coltivazioni intensive che coesistevano con la vegetazione spontanea. Alcuni insediamenti di tipo civile si presentano come veri e propri villaggi, con sentieri, sistemi di raccolta

delle acque piovane, magazzini, ricoveri per animali: centro fisico ed ideale di ogni insediamento è la Chiesa con alle pareti tracce di affreschi, di grande suggestione emotiva.

È nell'Alto Medioevo che questi insediamenti registrano il periodo di loro massimo sviluppo non soltanto per quanto riguarda i manufatti artistici (architettonici e pittorici), ma anche per quanto attiene gli aspetti civili; è proprio su questa realtà che si inserì, specialmente in concomitanza con la seconda colonizzazione bizantina, il monachesimo italo-greco. L'elemento monastico, pertanto, non è da considerare come l'episodio preminente di questa civiltà del vivere in grotte, ma come uno dei tanti fattori che concorsero a determinare alcuni esiti sul piano artistico, spirituale e religioso nel contesto di tale civiltà.

Vengono qui di seguito riportati due eccezionali esempi: il parco rupestre del territorio di Fasano (BR) e l'ipogeo di San Matteo all'Arena di Monopoli. Lo studio di tali insediamenti è risultato alquanto complesso dovendo prendere in esame molteplici aspetti: l'indagine storica, geologica, geotecnica, architettonica, ambientale ed infine lo stato di degrado delle opere d'arte in esse presenti. Sono infatti stati realizzati rilievi grafici e strutturali delle chiese ipogee nonché la mappatura del degrado dei beni artistici. In particolare, sono poi stati analizzati campioni di materiale lapideo murario, di intonaco e di superfici pittoriche.

5.1. Il *parco rupestre di Lama d'Antico, San Giovanni e San Lorenzo* del territorio di Fasano (BR)

Gli insediamenti rupestri del territorio di Fasano (BR), in località *Lama d'Antico, San Giovanni e San Lorenzo*, rientrano nella tipologia dei casali rupestri abbandonati e riassorbiti nel paesaggio naturale, i quali mantengono tuttora le strutture cristallizzate nel momento dell'abbandono ed offrono una documentazione di grandissimo valore storico-ambientale. In tale contesto architettonico le chiese costituivano senza dubbio il centro nevralgico della vita dei villaggi: la posizione dei luoghi di culto all'interno dei casali rupestri rispondono ad una scelta urbanistica ben precisa.

L'intero villaggio rupestre si localizza in corrispondenza di Lama Tammurone, lungo il margine costiero adriatico della Puglia, in territorio di Fasano (Br). Esso poggia per tutta la sua estensione sulla Calcarenite di Gravina (Plio-Pleistocene). La storia evolutiva dell'area in questione, da un punto di vista tettonico-sedimentario, rientra in un sistema più complesso, che ha portato alla formazione della catena dell'Appennino meridionale e dell'altopiano delle Murge. Le fasi fondamentali dell'evoluzione possono essere sintetizzate in cinque tappe fondamentali: 1- sedimentazione della serie carbonatica cretacea; 2- emersione nel Cretaceo Superiore-Paleocene; 3- lungo periodo di continentalità; 4-ingressione marina e sedimentazione quaternaria; 5- nuova emersione con ritiro del mare fino all'attuale posizione.

Le lame, solchi erosivi torrentizzi, hanno generalmente fondo piatto, molto largo e ricoperto da una spessa coltre di terra rossa con ciottoli di calcarenite, così

da permettere le coltivazioni di olivi e vite. L'origine geotettonica dell'area e le caratteristiche di lavorabilità della calcarenite presente lungo le pareti delle lame, spesso ripide, hanno condizionato l'impostazione e la geometria degli insediamenti rupestri in grotta, ma hanno anche permesso lo sviluppo di queste sorprendenti architetture in negativo che oggi possiamo ammirare e che in questa area trovano notevole diffusione.

L'insediamento rupestre di Lama d'Antico (Laviano *et alii*, 2004a e 2004b) in particolare, è uno dei più antichi esempi di un modello di insediamento umano non alternativo a quelli di tradizione più propriamente urbana e, per tale motivo, ormai inserito tra le tipologie abitative più rappresentative delle comunità medievali (Fig. 16). A Lama d'Antico la chiesa è scavata nella zona centrale della lama nel costone posto a settentrione ed ha una facciata maestosa, con tracce d'affreschi. Sul bancone roccioso soprastante sono poste alcune tombe; la chiesa, inoltre, doveva essere dotata di una cappella funeraria con 5 arcosoli, scavata esattamente dietro l'abside ed accessibile solo dall'esterno: la funzione cimiteriale della chiesa sembra essere suggerita proprio dalla presenza di tali cappelle funerarie.

Dal punto di vista planimetrico, la Chiesa di Lama d'Antico, databile fra il sec. X e il XI si presenta come un edificio a pianta allungata, divisa da una serie di pilastri archeggiati in due navate diseguali, interrotte al centro, in corrispondenza dell'ingresso laterale, da una larga cupola che si raccordava alla parte superiore attraverso dei pennacchi: essa, probabilmente, era coperta con tegole. La parte restante della copertura è realizzata con volte a botte di altezza diversa. Per ciò che concerne la decorazione pittorica, in alcuni punti delle pareti della chiesa si riscontrano alcuni palinsesti costituiti fino a quattro strati di intonaco affrescato. Da quanto si è potuto notare, pare che la chiesa sia stata interamente affrescata in epoche successive, come si può dedurre dalle diverse modalità di esecuzione degli affreschi.

5.1.1. *Analisi del deterioramento dei materiali lapidei e degli strati pittorici*

Un primo rilevamento geostrutturale condotto nell'insediamento rupestre di Lama d'Antico ha consentito di accertare la presenza di una serie di discontinuità degli ammassi rocciosi dovuti alla presenza di giunti di stratificazione e fratture. Tali litoclasi, condizionando negativamente le caratteristiche di resistenza meccanica e di deformabilità delle rocce, possono determinare l'insorgenza di pericolosi fenomeni di instabilità: crolli, ribaltamenti, scivolamenti, espansioni laterali; si originano così delle soluzioni di continuità, le quali diventano sedi preferenziali per l'instaurarsi di fenomeni di vero e proprio degrado e alterazione delle rocce.

L'insediamento rupestre di Lama d'Antico risulta inoltre particolarmente umido per l'infiltrazione di acque meteoriche e di acque di irrigazione dai campi sovrastanti la copertura, diverse sono quindi le forme di deterioramento presenti: efflorescenze saline, incrostazioni, distacchi e lacune; esse interessano in prevalenza le superfici pittoriche; alveolizzazione, patine biologiche e vegetazione infestante interessano il materiale lapideo.

Fig. 16. Insediamento rupestre di Lama d'Antico (Fasano).

Efflorescenze e subflorescenze si manifestano in seguito alla cristallizzazione e/o ricristallizzazione dei sali (nitrati, cloruri, solfati e fosfati). Il fenomeno è reso evidente dalla formazione sulla superficie dei manufatti artistici di patine, in genere di colore biancastro e di aspetto cristallino, polverulento o filamentoso. Una attenta osservazione delle raffigurazioni pittoriche ha messo in evidenza come in alcune aree vi sia soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale ed il substrato, fatto che prelude alla caduta degli stessi. Gli affreschi presentano, inoltre, numerose lacune che evidenziano strati di intonaco più interni o strati del supporto (Fig. 17).

L'alveolizzazione è caratterizzata dalla presenza di cavità (alveoli), anche molto profonde, distribuite con andamento irregolare sulla superficie del materiale lapideo; questo fenomeno è a luoghi spesso spinto fino alla disgregazione e alla polverizzazione della calcarenite.

La patina biologica è costituita prevalentemente da microrganismi fotosintetici (alghe, cianobatteri e licheni), cui hanno aderito polvere e terriccio; essa prevalentemente si riscontra in corrispondenza dei giunti di stratificazione della calcarenite, dove più facilmente si concentrano le soluzioni acquose e si determina la dissoluzione chimica e la disgregazione fisica.

Sono le pareti nord, sud ed ovest della chiesa ad essere interessate in maniera diffusa dalla formazione di pellicole ad ossalati di calcio, sia come weddellite [$Ca(C_2O_4)*2H_2O$] che whewellite [$Ca(C_2O_4)*H_2O$], e di sali quali nitrati, cloruri e solfati. Nell'area investigata, trattandosi di un particolare ambiente ipogeo, umido e

Fig. 17. Raffigurazione pittorica in Lama d'Antico (Fasano).

soggetto sia a diffusione per risalita capillare sia a percolazione delle acque meteoriche, e al tempo stesso sufficientemente ventilato e diffusamente illuminato dalle aperture presenti sul prospetto e sulla volta, le pellicole ad ossalati si presentano generalmente di colore chiaro e di aspetto polverulento.

Un altro fenomeno di degrado riscontrato è quello della formazione di incrostazioni superficiali, di spessore variabile e colore scuro. Un esame dettagliato al SEM di un campione rappresentativo di tali incrostazioni ha evidenziato la presenza di gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) in gruppi di lamelle dal caratteristico aspetto di "rose del deserto" (Fig. 18) o in cristalli aciculari.

Le incrostazioni sono in fase di distacco e causano il sollevamento della sottostante pellicola pittorica. Riguardo quest'ultima, i campioni analizzati mostrano come sul substrato lapideo sia steso un unico strato di malta particolarmente sottile (circa 100 μm), con calce fine e inerti a base di frammenti di calcari, ossidi di ferro e quarzo.

Per quanto riguarda, invece, la natura dei pigmenti adoperati, è stato accertato l'utilizzo di ocra rossa; la presenza invece di fosfati di calcio ha trovato riscontro anche nelle analisi PXRD che hanno messo in evidenza la presenza di idrossiapa-

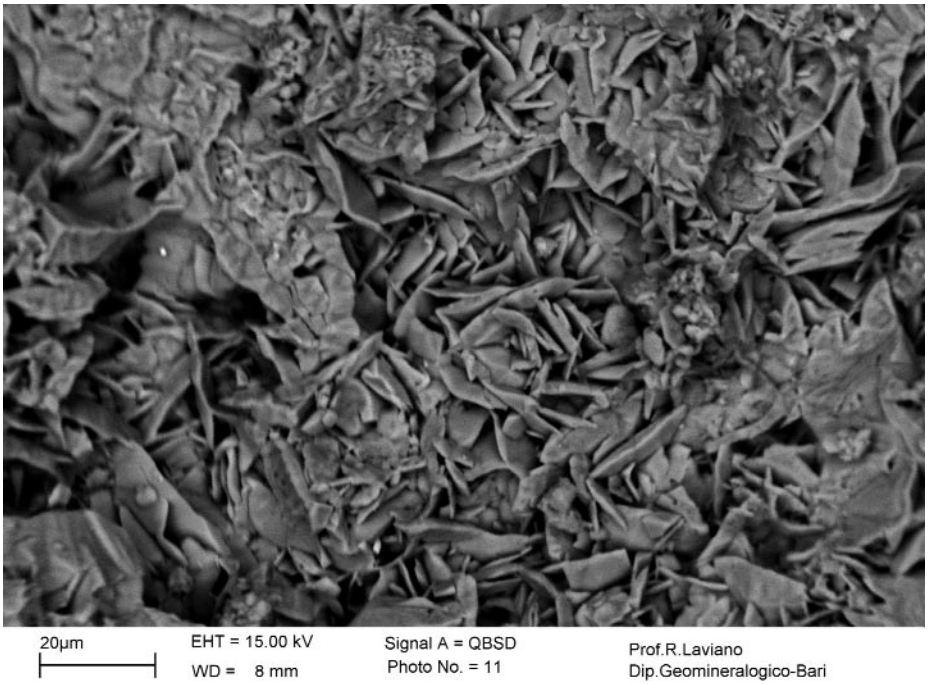

Fig. 18. Immagine al SEM di incrostazioni di cristalli di gesso sugli affreschi di Lama d'Antico (Fasano).

tite: $Ca_5(OH)(PO_4)_3$; tale fase mineralogica può trovare spiegazione o da inquinamento da fertilizzante per percolazione, ovvero dall'utilizzo nel pigmento di nero d'ossa, ottenuto dalla calcinazione in ambiente riducente di ossa d'animali. L'impiego di tale pigmento è testimoniato a partire dal IV sec. a.C..

5.2. *L'ipogeo di San Matteo all'Arena del territorio di Monopoli (BA)*

L'ipogeo di San Matteo all'Arena (Capitanio et alii, 2005) è un insediamento rupestre del territorio di Monopoli (Bari), scavato in un banco roccioso di natura calcarea a circa sei metri di profondità. Le prime notizie riguardanti la cripta risalgono al 26 febbraio 1180. L'ambiente è costituito da un vano quasi rettangolare (Fig. 19), biabsidato diviso in due piccole navate da quattro pilastri. La decorazione pittorica, risalente al XII-XIII secolo, che interessa una vasta area delle superfici interne dell'ipogeo sarà discussa nel capitolo 8.2..

I materiali di alterazione presenti in tale ipogeo e sovrapposti agli intonaci ed alle pitture murali sono costituiti da fango, polvere ed efflorescenze. Il materiale fangoso risulta essere composto da un impasto di terra argillosa aggregata a calcite, quarzo e feldspati. Il materiale polverulento è costituito anch'esso da materiali diversi, con prevalenza della calcite su minerali argillosi e quarzo. Le efflorescenze sono costituite da gesso. È interessante notare che, nonostante la vicinanza del mare dell'ipogeo, non è stata osservata presenza di cloruro di sodio fra le efflorescenze.

6. I MOSAICI PUGLIESI: UTILIZZO DEI MATERIALI LITOIDI E LORO STATO DI CONSERVAZIONE

Anche le tessere degli splendidi mosaici pugliesi sono in gran parte costituite da calcari variamente colorati presenti sul territorio: dal bianco, al grigio, al giallo, al verde, al nero. Un'indagine condotta sui mosaici di Canosa di Puglia: battisteri di San Leucio, San Giovanni e San Pietro, ha permesso di caratterizzare le singole tessere musive costituenti le antiche pavimentazioni con a volte i relativi strati preparatori, nonché di analizzare lo stato di degrado avvenuto sia per cause naturali che, per San Leucio, al pessimo intervento di conservazione effettuato.

L'importanza di Canosa era dovuta, almeno in parte, alla sua posizione topografica, sulle rive del maggiore fiume pugliese l'Ofanto a quel tempo in parte navigabile, ma soprattutto perché posta sulla Via Traiana (costruita nel 109 a.C. dall'imperatore Traiano), l'asse stradale più importante che collegava Beneventum con Brundisium e mantenne la sua funzione di spina dorsale nei collegamenti tra la Puglia e l'Italia centro-appenninica anche durante l'alto Medioevo. Inoltre l'importanza della sede vescovile canosina è testimoniata dalla presenza dei suoi vescovi ai numerosi concili papali a Costantinopoli. Il vescovo che più di ogni altro portò la chiesa di Canosa al periodo di massimo splendore fu il vescovo Sabino che si inserisce nel vivo della storia cristiana della prima metà del VI secolo. La tradizione fissa il suo episcopato negli anni compresi tra il 514 e il 566, un periodo lunghis-

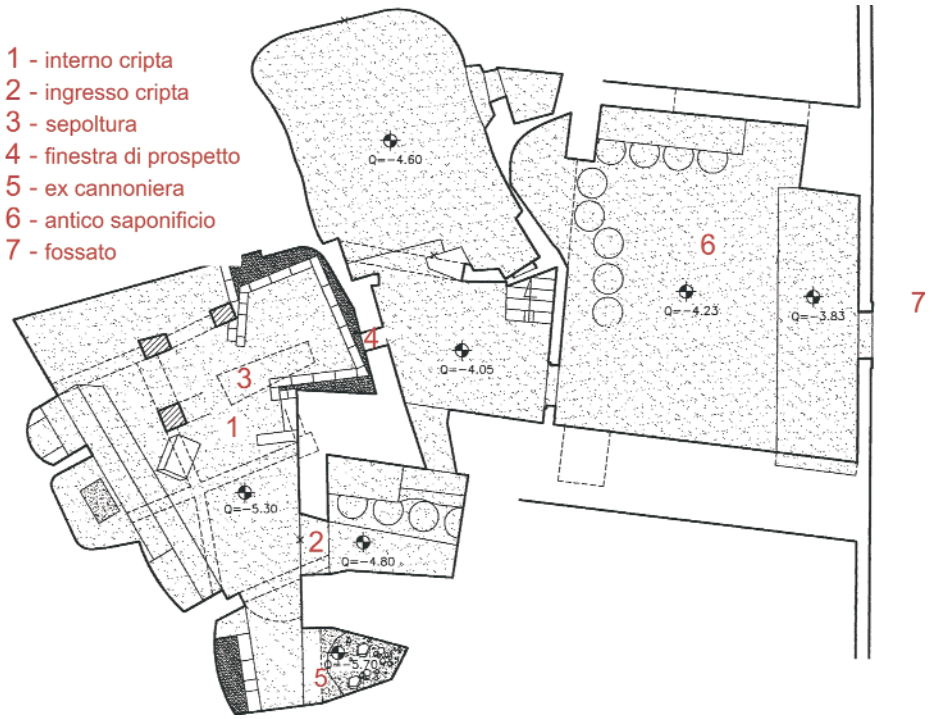

Fig. 19. Pianta dell'ipogeo di San Matteo all'Arena in Monopoli (scala 1:100).

simo. Sabino godeva di grande fama, tanto da essere citato sempre subito dopo il papa, come ci mostrano gli atti del concilio romano convocato da Bonifacio II (530 - 532) e fu inviato a Costantinopoli in qualità di capo di due legazioni papali, nel 525 e nel 536. Sul vescovo Sabino ci sono state tramandate numerose notizie, di cui alcune autentiche e altre prive di ogni fondamento storico. Tra le fonti scritte sulla vita del Santo, una testimonianza di primo ordine è quella contenuta nei "*Dialogi*" di papa Gregorio Magno (590-604), l'altra è la "*Historia vitae inventionis translationis S. Sabini episcopi* (*Vita)*", commissionata dal vescovo Pietro ad un autore anonimo agli inizi del IX secolo probabilmente scritta in due epoche diverse (Campione, 1991).

Sabino si adoperò inoltre nelle insolite vesti di "*restaurator ecclesiarum*", per la costruzione di splendidi edifici di culto, contribuendo in tal modo a conferire alla città canosina una specifica caratterizzazione cristiana. Nella "Vita" dell'Anonimo si legge: "*Con quanto mirabile artificio fece costruire, nella città di Canosa, una basilica in onore dei beati martiri Cosma e Damiano e la fece decorare con colonne differenti e con un mosaico. Fondò una chiesa con un'alta volta dedicata a San Giovanni Battista, precursore del Signore nostro Gesù Cristo, presso la chiesa della beata e sempre*

vergine Maria, Madre di Dio, e, anche davanti alla chiesa del predetto precursore, fece costruire un grande tempio riccamente ornato, dedicato al Salvatore". A questi edifici di culto ex novo bisogna aggiungere la basilica di *San Leucio* e la chiesa episcopale di *San Pietro*, interessate sotto l'episcopato del vescovo Sabino a lavori di riedificazione, come conferma il rinvenimento di numerosi mattoni con il suo monogramma in entrambi gli edifici. A queste due chiese canosine inoltre va ad aggiungersi la Cattedrale di Barletta, anche in questo edificio è stato infatti rinvenuto un mattone con il monogramma del vescovo Sabino.

6.1. *Il battistero di San Leucio*

La Basilica di San Leucio fu costruita al disopra di un grandioso tempio ellenistico (Fig. 20), utilizzandone il podio come fondazione e blocchi ed elementi scultorei quali i giganteschi capitelli figurati (Fig. 21) per la costruzione delle murature. La pianta della Basilica è un doppio tetraconco, rara tipologia di derivazione siriaca presente, in Italia, soltanto qui e nella Basilica di San Lorenzo Maggiore a Milano. Il quadrato centrale era molto probabilmente coperto da una cupola sostenuta da pilastri a "L" nei cui incavi erano colonne. Nello spazio tra il quadrato interno e quello esterno correva un deambulatorio coperto con volte a botte. Circa la sua storia ed architettura, nonché sulle diverse tipologie di pavimentazioni musive presenti e i diversi interventi di restauro, notizie più dettagliate sono presenti nel lavoro di Laviano et alii, (2004d). Comunque le figurazioni prevalentemente utilizzate per la pavimentazione musiva hanno carattere geometrico tranne che nell'abside principale in cui, nel presbiterio sopraelevato, troviamo girali vegetali tra cui si annidano degli uccelli e un pavone (Fig. 22). I materiali di cui le tessere sono costituite sono cotto, marmo e calcare.

L'analisi petrografica (MO) dei campioni in cotto ha evidenziato la presenza di una tempra di dimensioni medie di circa 40 μm, con punte di 400-500 μm. Il minerale più abbondante è il quarzo, dalla forma irregolare e con spigoli vivi; in quantità decrescenti ci sono: calcite, feldspati potassici, plagioclasi, muscovite, ossidi di Fe e pirosseni diopsidici. Questi ultimi hanno le caratteristiche tipiche dei pirosseni del Monte Vulture, il che porta ad indicare i sedimenti argillosi del vicino Fiume Ofanto quali principali fornitori della materia prima. Il colore è marrone chiaro ed è abbastanza uniforme sia all'interno dei singoli campioni che tra campioni diversi; ciò indica che la cottura è avvenuta in ambiente ossidante e che le condizioni di cottura sono state alquanto costanti per tutti i campioni.

L'analisi mineralogica (PXRD) ha permesso di individuare alcune specie mineralogiche che, formandosi in fase di cottura, hanno dimensioni di cristalli tali da non essere evidenziabili per microscopia ottica: pirosseno diopsidico, gehlenite ed ematite.

Questi minerali di neoformazione indicano che le temperature raggiunte in fase di cottura siano comprese tra i 900 e i 1.000 °C.

Le tessere in marmo sono molto omogenee dal punto di vista chimico-minera-

Fig. 20. Basilica di San Leucio in Canosa.

Fig. 21. Capitello figurato della Basilica di San Leucio in Canosa.

Fig. 22. Mosaico raffigurante un pavone nella Basilica San Leucio in Canosa.

logico, infatti dalle analisi FRX è emersa una netta preponderanza degli elementi-base dei minerali carbonatici (CaO, MgO, L.O.I.), mentre gli elementi in traccia sono presenti in bassissime quantità (Laviano *et alii,* 2004d); l'analisi PXRD conferma questo dato, infatti il minerale preponderante è la calcite ed in quantità molto scarsa sono presenti quarzo, feldspati, clorite, dolomite e muscovite.

Maggiori differenze sono state individuate in sezione sottile. Innanzitutto i cristalli hanno dimensioni molto varie (da poche decine di μm al mm). Inoltre in alcuni campioni i cristalli si aggregano per formare un'alternanza di fasce a granulometria differente, mentre in altri questa zonazione è assente. Altre differenze emergono dall'analisi della forma e dei contorni dei cristalli: a volte questi si presentano con forme poligonali, contorni rettilinei e giunzioni triple tra le facce; in alti casi i cristalli hanno forma e contorni irregolari; queste due situazioni limite sono spesso presenti nell'ambito di uno stesso campione. L'unico aspetto comune a tutte le sezioni è la presenza di calcite poligeminata sia lungo i due sistemi di tracce di sfaldatura che lungo la loro diagonale maggiore. La provenienza di questi marmi è di difficile determinazione: si tratta comunque di materiale di reimpiego.

La maggior parte delle tessere campionate è risultata però essere di natura calcarea e con colori abbastanza variabili. Delle quindici tessere esaminate nove sono di colore grigio più o meno scuro, tre sono sui toni del rosso, due del verde, una di colore bianco. Le tessere grigie possono essere ricondotte ai cosiddetti "calcari bituminosi". Calcari bituminosi sono presenti in Puglia in vicinanza della foce del Fiume

Fortore. Un'altra peculiarità di questi campioni è la forte presenza di quarzo, rilevato in undici tessere con tenori paragonabili se non addirittura superiori a quelli della calcite. Il quarzo è stato però osservato raramente al microscopio, ciò significa che questo minerale è disperso nei vari campioni quali cripto-cristalli.

Nello studio degli strati preparatori i dati più interessanti derivano dall'analisi delle sezioni sottili. Sono stati individuati con certezza almeno due strati; la presenza di un terzo è probabile ma non certa. La malta con cui sono fatti è costituita da una matrice calcitica a grana finissima e da inerte in quantità diversa da strato a strato. I granuli che compongono l'inerte hanno generalmente contorni spigolosi e forme irregolari; le loro dimensioni vanno mediamente da 30 a 300 μm con alcuni elementi singoli di qualche mm. La variegata natura dei granuli è indice di diverse fonti di approvvigionamento. Inerti in quarzo, plagioclasio, feldspato potassico, pirosseno, selce provengono probabilmente dai sedimenti dell'Ofanto. I frammenti di calcare e calcarenite derivano dai numerosi affioramenti in loco di tali litotipi. Infine i frammenti di chamotte, marmo e malta si ricavano dalla frantumazione di altri manufatti.

I singoli strati si differenziano in funzione della quantità di inerte. Lo strato superiore, cioè quello su cui sono allettate le tessere, è formato quasi esclusivamente da calce e da pochissimo inerte a grana siltoso-sabbiosa. Nello strato immediatamente sottostante il rapporto si inverte: gli inerti formano uno scheletro quasi continuo tenuto insieme da una piccola quantità di calce. Il terzo strato è quello sul quale non c'è certezza; al microscopio la struttura è la stessa dello strato precedente con in più la presenza di alcuni elementi di grosse dimensioni (4-5 mm), riscontrati anche a livello macroscopico. I dubbi su questo strato nascono dal fatto che il campione raccolto è troppo esiguo per essere considerato rappresentativo, e ciò a causa del cattivo stato di conservazione del lembo di mosaico in situ.

6.2. *Il battistero di San Giovanni*

Il Battistero di S. Giovanni si inserisce nel periodo di massimo splendore della Canosa tardo antica, è uno dei monumenti più importanti di Canosa sia dal punto di vista architettonico, sia per il suo stato di conservazione. Nonostante le devastazioni e i numerosi terremoti che ha subito la città daunia, le massicce mura della costruzione hanno resistito ai secoli grazie anche ad una copertura di volta a vela di fine '800 quando il battistero venne adibito a frantoio. Circa la sua storia ed architettura, nonché sulle diverse campagne di scavo condotte, con ritrovamenti di grandi frammenti di mosaici, notizie più dettagliate sono presenti nel lavoro di Laviano et alii, (2004c)

Le tessere di mosaico (Fig. 23) analizzate erano state in un primo momento classificate con criteri principalmente macroscopici: colore, aspetto, etc. L'analisi minero-petrografica delle tessere studiate ha permesso di poter migliorare la classificazione, sulla base della loro struttura, tessitura e composizione mineralogica, in

Fig. 23. Mosaico nella zona meridionale dell'atrio antistante il Battistero di San Giovanni in Canosa.

tessere calcaree e tessere marmoree. Anche a livello macroscopico emergevano differenze di ordine cromatico; la maggior parte delle tessere erano bianche, ma erano presenti anche le tonalità del verde e del grigio. Lo studio delle sezioni sottili ha messo in evidenza differenze di struttura e tessitura: si va da una struttura clastica, (caratterizzata da frammenti di roccia e/o cristalli organizzati in scheletro/matrice/cemento) tipica delle rocce sedimentarie ad una struttura cristalloblastica, tipica delle rocce metamorfiche. Le tessere calcaree, analizzate al microscopio ottico, sono state facilmente riconosciute perché caratterizzate da una matrice micritica e da abbondanti resti fossili (alghe calcaree ed echinidi), il tutto sempre intensamente ricristallizzato in fase post-deposizionale. Inoltre sono presenti numerose fratture riempite da calcite di precipitazione secondaria. Dal punto di vista mineralogico queste tessere sono praticamente uguali, infatti l'unico minerale rilevato tramite PXRD è la calcite, dato confermato dall'analisi chimica in cui più del 96% in peso di questi campioni è dato dalla somma di CaO+L.O.I..

Le tessere marmoree sono distinguibili, invece, per la presenza di cristalli euedrali di calcite che si alternano in fasce di cristalli a grana più fine e a grana più grossolana dai contorni poligonali o rettilinei e da giunzioni triple tra le facce.

I dati chimici riguardanti le concentrazione degli elementi maggiori (Laviano *et alii*, 2005), evidenziano una sostanziale diversità composizionale tra i campioni di tessere calcaree e marmoree. Le differenze maggiori si osservano per le concentra-

zioni di SiO_2, CaO, che risultano del tutto coerenti con i caratteri mineralogici; infatti lo studio minero-petrografico ha evidenziato la presenza di quarzo e calcite in quantità variabili nel primo gruppo di tessere e una composizione essenzialmente carbonatica con scarsa presenza di componente quarzosa nelle tessere marmoree. Vi sono comunque tessere che hanno un comportamento intermedio tra i due su citati gruppi ed ancora con diverse quantità di SiO_2.

Singolare è invece il riconoscimento di campioni con una tessitura porfirica. In un caso la tessera presenta fenocristalli di plagioclasio fortemente zonato e fantasmi di minerali femici completamente alterati in clorite: il campione può essere classificato come una metabasite. Nell'altro caso sono riconoscibili fenocristalli di orneblenda basaltica e feldspati fortemente alterati in una massa di fondo a tessitura ialopilitica: la roccia è classificabile come latite. Rocce di questo tipo non sono riscontrabili tra quelle del complesso vulcanico del monte Vulture. Le rocce di origine vulcaniche, erano usate talvolta come materiale "nobile" o di reimpiego nella costruzione dell'opera musiva.

6.3. *Il battistero di San Pietro*

Durante una prima campagna di scavo tenutasi nel 2001 nell'area della collina di San Pietro a Canosa è stato individuato un articolato complesso costituito da un edificio residenziale, (l'episcopio), da un mausoleo e da un altro ambiente absidato occupato da alcune sepolture. Nel 2002 si è avviata la seconda campagna di scavo che ha riguardato l'ampliamento dei tre saggi precedenti, in particolare è stata indagata l'intera zona ad Ovest del complesso, dove era stata ipotizzata la presenza della Chiesa di San Pietro. Tale approfondimento ha permesso di definire la struttura e le dimensioni originarie dell'edificio religioso. Sono state rinvenute parti delle navate e del nartece, nonché di un ampio atrio porticato che si sviluppava a Est dell'edificio di culto. Esso si presenta diviso in tre navate avente una larghezza di circa 30 m, con un rapporto quasi perfetto di 1:2 tra le navate laterali e la navata centrale ed è ancora indefinibile nella sua lunghezza. Circa la sua storia ed architettura, nonché sulle diverse campagne di scavo condotte, notizie più dettagliate sono presenti nel lavoro di Volpe *et alii* (2002).

I prelievi relativi al mosaico della navata meridionale (Laviano *et alii*, 2006), hanno interessato principalmente gli strati preparatori, aventi una sezione di circa 6 cm, entro i quali è possibile inquadrare lo schema stratigrafico dei mosaici. Iniziando dal basso e procedendo verso l'alto, abbiamo rilevato le seguenti informazioni:

- Argilla battuta mescolata con cocci;
- Sabbia calcarenitica mescolata, in alcuni punti, con argilla;
- Malta con frammenti di tufo giallo e calce;
- Malta ricca di inerti in cocciopesto.

Dal quadro generale dei risultati ottenuti dalle analisi di laboratorio si è stabilito che esistono sottili differenze tra i vari strati, dato prevedibile, se consideriamo

che gli strati di preparazione di un mosaico presentano solitamente un impasto che dal basso verso l'alto diviene sempre più fine. Sia a San Leucio che a San Pietro manca il vespaio; questa caratteristica è riconducibile probabilmente al fatto che Canosa e i suoi dintorni non sono aree particolarmente umide, e non pongono quindi la necessità di impermeabilizzare il sottofondo. Infatti, l'uso del vespaio, o per utilizzare il termine che ci hanno tramandato Vitruvio e Plinio "statumen", non è da attribuire alla casualità, esso è dettato dalle esigenze del momento, ma soprattutto alle condizioni geologiche di un luogo. Questo dato è ancora più significativo se consideriamo che i due mosaici risalgono a due epoche diverse: V-VI secolo i mosaici di San Leucio, VI-VII secolo i mosaici di San Pietro. Queste informazioni ci permettono di supporre che ci fosse una tradizione musiva ben radicata a Canosa e che tale tradizione abbia consentito la prosecuzione di questa tecnica nei secoli.

La decorazione dei mosaici del battistero di San Pietro sono realizzate in pasta vitrea (verde, celeste, azzurra e blu – Fig. 24), numerose sono anche le tessere con la presenza di cartellina in oro; ed in aree diverse da tessere lapidee in marmo bianco e rosso scuro.

Le paste vitree studiate sono composte prevalentemente di silicio, sodio, calcio e alluminio. Il loro colore è dato per le tessere verdi dalla presenza di rame, e per le tessere azzurre dalla presenza di antimonio. Le tessere lapidee rosse e marroni, composte prevalentemente da calcite, quarzo, muscovite, goethite e dolomite, chimicamente presentano una notevole quantità di ferro, che risulta quindi essere il principale elemento cromoforo. Le tessere lapidee carbonatiche, di colore dal bianco avorio al grigio, presentano calcite e minori variabili quantità di quarzo (Laviano *et alii*, 2006).

Il battistero di San Pietro presenta quindi i mosaici della navata laterale sud costituiti essenzialmente da tessere carbonatiche con notevoli quantità di calcite, quarzo ed ossidi di ferro; mentre i mosaici dell' ambiente "mausoleo" e del vano quadrangolare situato a nord del mausoleo stesso sono realizzati con tessere carbonatiche e in pasta vitrea. La presenza, in mosaici diversi, di tessere con caratteristiche litologiche simili sta ad indicare un'origine comune (stesse unità litostratigrafiche) e, di conseguenza, una continuità di approvvigionamento nel tempo delle rocce utilizzate per realizzare le tessere.

Gli studi sui mosaici della città di Canosa indicano la prevalenza, nella loro realizzazione, dell'utilizzo di tessere in rocce calcaree e marmoree con tessere in cotto ed in minore quantità in paste vitree.

L'utilizzo di tali materiali lapidei calcarei erano ottimali oltre che per le loro intrinseche caratteristiche estetiche, anche per via della loro grana minuta che unitamente alla bassa durezza, levigabilità e lucidabilità, consentivano un taglio facile e preciso, ed una gradevole resa cromatica. Raramente si faceva ricorso all'utilizzo di rocce vulcaniche che, prevalentemente per la loro assenza in loco, per l'abbondante presenza nei diversi litotipi di fasi silicatiche e quindi per l'intrinseca struttura delle rocce, risultavano più ostiche alla lavorazione; i rari casi in cui esse veni-

Fig. 24. Mosaico con tessere in pasta vitrea del Battistero di San Pietro in Canosa.

vano utilizzate nei mosaici canosini erano finalizzate all'ottenimento di una particolare resa cromatica. Nel battistero di San Giovanni infatti la presenza di tali litotipi si è rivelata un'eccezione rappresentando un classico esempio di loro utilizzo quale materiale di reimpiego.

Le rocce carbonatiche pugliesi presentano quindi una buona variabilità cromatica con colori che vanno dal bianco avorio, al grigio, al giallo al rosso nelle sue varie tonalità; si deve però qui ricordare anche lo stupendo calcare verde (a glauconite) presente nel Salento (Dell'Anna, 1963 e 1964) con cui sono state realizzate alcune tessere del mirabile mosaico "Albero della Vita" (Fig. 25) della cattedrale di Otranto.

7. Forme di degrado e fasi di neformazione nei materiali litoidi pugliesi

Negli ipogei, nelle chiese rupestri, in cappelle o cattedrali, le rocce carbonatiche pugliesi sono la materia prima con cui esse sono state realizzate; ma ancorpiù tali matriali sono stati utilizzati per particolari architettonici di grande importanza storico artistica quali portali e rosoni di cui le cattedrali Pugliesi sono un mirabile esempio. Purtroppo però, come noto, le rocce carbonatiche di origine chimico-sedimentaria sono materiali che, in special modo se frequentati antropicamente dopo essere stati strappati al loro ambiente naturale, lavorati e messi in opera, ini-

Fig. 25. Particolare del mosaico "Albero della Vita" della cattedrale di Otranto.

ziano a degradarsi con processi più o meno accelerati in conseguenza proprio delle diverse sollecitazioni, chimico-fisico-antropologiche, cui sono sottoposte.

Importanti informazioni, a tal proposito, sono state tratte dallo studio delle cristallizzazioni secondarie che interessano i materiali lapidei di opere murarie, site nell'area della città di Bari e dintorni, in alcuni dei principali monumenti romanici (Basilica di San Nicola, Cattedrale di San Sabino, Cattedrale di Bitonto). Le analisi condotte hanno permesso di individuare le principali fasi mineralogiche di cristallizzazione secondaria: carbonati (calcite di ricristallizzazione e trona), solfati (the-

nardite, aphthitalite, gesso, darapskite, arcanite), nitrati (niter e nitratite), cloruri (alite e silvite), ossalato di calcio tipo whewellite (Dell'Anna *et alii*, 1989).

La presenza di calcite di ricristallizzazione, di trona [$Na_3H(CO_3)_2*2H_2O$] e di alite (NaCl) è giustificata dalla natura dei materiali lapidei (calcari e calcareniti) e dalle soluzioni che interagiscono con questi (complesso acqua-atmosfera con composizione caratterizzata dalla vicinanza dell'ambiente marino). Al contrario la presenza dei solfati e del niter (KNO_3) è sicuramente condizionata dall'attività antropica e dall'inquinamento ambientale. Le associazioni mineralogiche individuate nei diversi prodotti secondari evidenziano la profonda influenza delle condizioni fisiche ambientali (umidità relativa) sulla genesi e sulla persistenza delle singole fasi cristalline; ciò anche in riferimento alla probabile formazione di microambienti generati dalla applicazione di composti cementizi (Dell'Anna & Laviano 1990).

Anche nell'entroterra pugliese, pressoché sulle Murge Alte, dove è sita la Cattedrale di S. Eustachio in Acquaviva delle Fonti (Fig. 26), le cristallizzazioni sono rappresentate da efflorescenze e da depositi superficiali tipo croste nere.

Le analisi condotte hanno messo in evidenza, per i campioni di efflorescenze, una presenza quasi esclusiva di niter insieme ad altre fasi, rinvenute sporadicamente, e costituite da nitratina ($NaNO_3$), nitrocalcite [$Ca(NO_3)_2*2H_2O$], gesso, aphtitalite [$K_3Na(SO_4)_2$], melanterite ($FeSO_4*7H_2O$) e silvite (KCl). Le efflorescenze sono particolarmente sviluppate nella cripta della Cattedrale mentre nella chiesa superiore il fenomeno appare molto più limitato; esso è localizzato, in corrispondenza della facciata interna, lungo uno dei pilastri di cemento, inseriti durante i lavori di restauro nel 1956, al fine di conferire maggiore stabilità. Indagini analitiche hanno riguardato, anche, i campioni di croste nere prelevate, in più punti, all'esterno della chiesa. Le fasi riconosciute risultano essere: ossalati di calcio rappresentati da weddellite e soprattutto da whewellite, gesso, quarzo di origine eolica ed inquinanti vari tra cui ossidi di ferro, sotto forma di sferule, cloruro di piombo ($PbCl_2$), bario, fosforo ed infine elementi pesanti quali titanio e vanadio (Laviano, 2004a).

All'interno delle Serre Salentine, ove è invece sita la Chiesa "Santa Maria delle Grazie", in Campi Salentina (Lecce), è stata evidenziata la presenza di varie forme di alterazione strettamente correlate ai diversi litotipi impiegati nella sua costruzione (Laviano, 2004b).

Il primo litotipo individuato è il "calcare a chiancarelle" (Cretaceo sup.) facente parte della formazione dei "Calcari di Melissano". Per la notevole resistenza e tenacità è stato utilizzato per il pavimento, il calpestio ne ha determinato una leggera usura rendendolo più lucido. Altro litotipo riconosciuto è una calcarenite detritica rossastra tipo "tufo" (Pliocene sup.-Pleistocene inf.), utilizzata soprattutto per la facciata e le murature esterne. Tale calcarenite, rilevata nel distretto di Campi, è costituita da grani bioclastici ed intraclastici cementati da un mosaico di calcite spatica. In tale roccia, che presenta un grado di cementazione più basso della media, l'alterazione ha poi asportato una percentuale variabile di cemento sparitico. Le maggiori forme di alterazione di tale calcarenite risultano concentrate

Fig. 26. Facciata della Cattedrale di S. Eustachio in Acquaviva delle Fonti.

all'interno della fascia di risalita, per capillarità, d'acqua che interessa tutta la chiesa per un'altezza di circa 2,5 m. Per la realizzazione dei paramenti murari interni e della sacrestia è stata utilizzata la stessa calcarenite tipo "tufo" però nella varietà bianco-giallastra. La calcarenite tipo "carparo" (Pleistocene sup.) è il materiale costituente il campanile. Si presenta di colore giallastro o avana giallognolo, meno poroso, più tenace, e con un più elevato contenuto in cemento sparitico rispetto la calcarenite detritica, precedentemente descritta.

La "Pietra Leccese" (Miocenica), calcarenite bioclastica, tenera, è l'ultimo dei litotipi individuati. Essa è stata utilizzata per i portali rivolti ad ovest e ad est. Essa presenta prevalentemente granuli calcarei e cemento calcitico, in quantità subordinata granuli di glauconite, quarzo, feldspati e muscovite, oltre a minerali argillosi finemente dispersi nel cemento. Su tale litotipo si è instaurata una tipica forma di weathering, che si sviluppa tramite una degradazione selettiva di grani, conosciuta localmente con il termine di "carie" (Laviano, 2004b).

8. Le decorazioni pittoriche pugliesi

Le rocce carbonatiche pugliesi sono inoltre, in cappelle o cattedrali, il substrato su cui sono inseriti capolavori pittorici, realizzati spesso a fresco con finiture a secco ed a rilievo (in pastiglia di malta e calce), e la cui conservazione è strettamente correlata al sottostante materiale lapideo. In Puglia inoltre, come prevedibile, anche in quasi tutti gli insediamenti rupestri, sono presenti pitture che coprono un ampio arco storico-artistico.

Molte di tali opere artisitiche sono, purtroppo di norma, caratterizzate da una situazione di marcato degrado per la presenza di lesioni di una certa consistenza, di diffusi distacchi dell'intonaco dipinto, di processi di solfatazione e carbonatazione dovuti sia alle particolari condizioni del microclima interno alla chiesa o all'ipogeo, che alla presenza di fenomeni di umidità di risalita. Notevoli e spesso assolutamente catastrofiche è poi la presenza di cristallizzazioni secondarie (Garavelli *et alii*, 1990; Laviano 1992).

8.1. *Le decorazioni pittoriche della chiesa di Santo Stefano di Soleto (LE)*

Un mirabile esempio di rappresentazione pittorica a fresco, di poco precedente al vicinissimo maestoso ciclo pittorico presente nella Basilica di Santa Caterina di Alessandria in Galatina (LE), è la piccola cappella, già intitolata ai Santi Stefano e Sofia, di Soleto (LE); essa fu fondata da Raimondello Del Balzo Orsini – conte di Soleto e di Galatina.

Sui muri d'ambito si spiega un repertorio di pitture a fresco nel complesso coerente: ad est, sulla parete soprastante la conca absidale, l'Assunzione della Madonna e Dio Padre in trono con i simboli dei quattro Evangelisti secondo la visione del profeta Daniele; nell'abside Cristo Logos-Sophia che concelebra con quattro Santi vescovi (Fig. 27), sovrastato dalla Pentecoste; nel paliotto dell'altare lapideo, addossato successivamente all'abside, cinque Santi vescovi. Le pitture sui muri longitudinali e di retroprospetto, organizzate in più registri, recano in quello inferiore una teoria di Santi e Sante stanti, a carattere propriamente votivo, la Crocifissione, la Madonna con Bambino e Cristo Sacrificante; nei registri superiori compaiono i cicli con Storie della vita di Gesù (parete nord), di Santo Stefano protomartire (parete sud); infine sulla parete di controfacciata è la raffigurazione del

Fig. 27. Cristo Logos-Sophia nell'abside della chiesa di Santo Stefano in Soleto.

Giudizio Universale e nell'intradosso del rosone la Deesis. Sovrapposizioni di intonaci dipinti, anche in triplo strato, sono evidenti nel muro absidale e, in parte, nel registro inferiore dei muri longitudinali. Si tratta pertanto per la Puglia di uno dei primi, più compiuti esempi di cultura pittorica tardo gotica, in connessione certamente al più noto cantiere di Santa Caterina di Galatina.

Di particolare interesse si sono rivelate le campiture rosse dei fondi (come poi appunto a Galatina e in altre imprese decorative salentine ad essa connesse), dei riquadri del ciclo cristologico e dei tableaux del registro inferiore. A Soleto l'intento decorativo del fondo rosso è usato in alternanza al tradizionale campo blu, tale alternanza di conseguenza ritorna, per esempio nel ciclo cristologico, nelle vesti, ora blu, ora rosse, di Gesù (Lorusso *et alii*, 2005).

La decorazione murale presenta zone con intonaco in unico strato e zone con tracce di palinsesti anche in triplo strato. Le pitture, eseguite a fresco con finiture a secco e a rilievo (in pastiglia di malta e calce) presentavano una situazione di mar-

cato degrado per la presenza di lesioni verticali di una certa consistenza specie nella parete absidale, di diffusi distacchi, anche profondi, dell'intonaco dipinto, di processi di solfatazione e carbonatazione dovuti sia alle particolari condizioni del microclima interno che al persistere di fenomeni localizzati di umidità di risalita, causa di cadute della pellicola pittorica anche recenti; esse presentavano inoltre diffusi distacchi dell'intonaco e alcune zone erano invase da efflorescenze saline. Erano presenti tracce di vecchi consolidamenti con fori ancora occlusi da tamponi di ovatta incrostati, e svariate, seppur circoscritte lacune che denotavano recenti cadute di colore; inoltre le ampie zone lacunose, a livello e sottolivello, trattate con malte per colorazione e granulometria inidonee e delimitate da bordini di contenimento grossolani, disturbavano notevolmente l'unitarietà di lettura d'insieme, come pure la comprensione dell'estensione e della distribuzione delle sovrapposizioni degli strati di intonaco (Lorusso *et alii*, 2005).

Su tutti i muri d'ambito è stata effettuata uno approfondito rilevamento delle tecniche esecutive mediante mappatura digitalizzata; hanno affiancato tali indagini un puntuale rilevamento fotografico, con anche riprese all'infrarosso e con lampada a fluorescenza UV.

I tematismi analizzati sono stati: a-lacune a tinta neutra; b-lesioni, buchi, picconature; c-distacchi profondi (di intonaco, intonachino e preparazione); d-distacchi dell'intonaco; e-pellicola pittorica pulverulenta; f-efflorescenze saline; g-sostanze particellari. Sono stati quindi prelevati campioni della stratigrafia intonaco-pigmento dai differenti strati di dipinti murali e campioni di efflorescenze.

I campioni relativi alla stratigrafia intonaco-pigmento hanno messo in evidenza la presenza di una malta (intonachino) che è risultata composta da un inerte quarzoso-feldspatico (feldspati alcalini e plagioclasi) con rarissimi clasti di calcite e dolomite, mentre il legante è costituito da una calce magra; esso contiene, infatti, buone quantità di magnesio per cui sono stati certamente utilizzati, per la produzione della calce, i depositi carbonatici presenti in loco con composizione da calcarea a dolomitica (Dell'Anna & Laviano, 1987).

Le incrostazioni hanno messo in evidenza la presenza di uno strato compatto di solfatazione con formazione di gesso, mentre le efflorescenze sono composte di nitratite ($NaNO_3$).

Il pigmento azzurro (leggermente alterato in verde), è risultato costituito da carbonato basico di Cu nelle due forme dell'azzurrite: $Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$ e della malachite: $Cu_2(OH)_2CO_3$, ed ancora da barite: $BaSO_4$; tutti in piccoli cristalli finemente dispersi in calce debolmente magnesifera (Fig. 28). Come è noto il Cennini (Cap. LXXII) elenca con precisione i colori da non utilizzare in fresco e tra questi pone proprio l'azzurrite per via della sua alterazione in malachite. La presenza della barite (D=4,5) può essere spiegata come una volontaria aggiunta da parte dei produttori del colore, potendosi presentare anche con colorazione debolmente azzurra, ai fini dell'adulterazione del peso dell'azzurrite (D=3,80), come suggerisce per altro Thompson (1956), facendo però riferimento a sabbie.

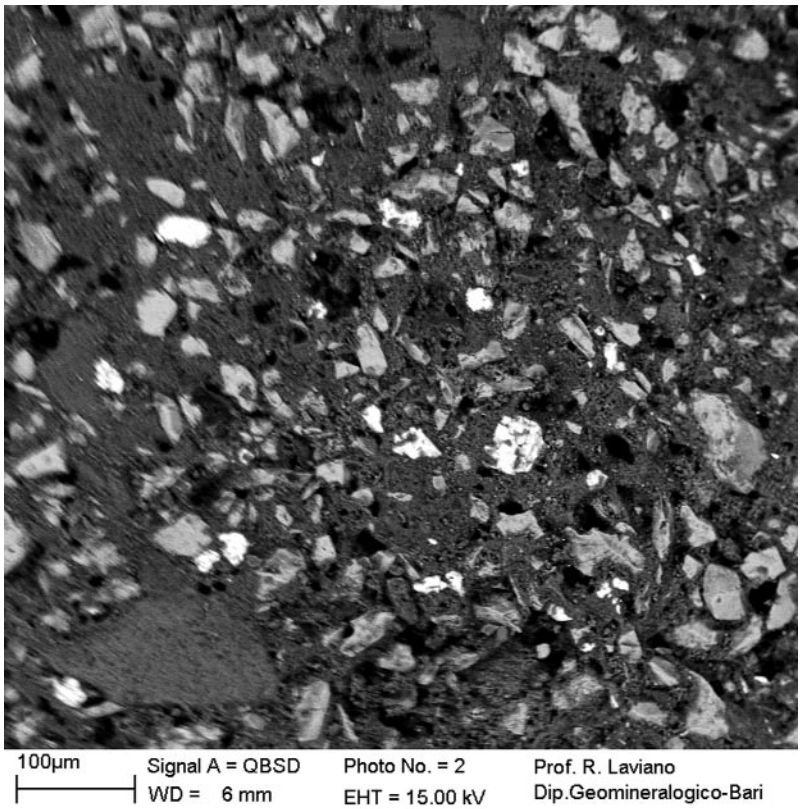

Fig. 28. Immagine al SEM del pigmento azzurro costituito da azzurrite, malachite e barite, in legante in calce debolmente magnesifera.

Il pigmento nero è risultato costituito da argilla (terra rossa? – sinopia?), fosfato di calcio (calcinazione di ossa?) dispersi in calce magnesifera. Cennini (1437) descrive i materiali con cui si possono ottenere i fondi neri in fresco sui quali poi stendere in secco l'azzurrite (Cap. LXXXIII): il fondo nero veniva ottenuto mescolando due parti di sinopia e una di nero. Quanto al nero occorre ricordare che Cennini (cap. XXXVII) non cita il nero d'ossa e il nero d'avorio ma soltanto quello ricavato dal nerofumo (combustione dell'olio di lino), quello ricavato dalla combustione dei noccioli di pesca o dei gusci di mandorla ed infine quello ricavato dalla bruciatura dei sarmenti di vite.

Il pigmento rosso del fondo è risultato costituito da cinabro: HgS disperso in calce debolmente magnesifera e miscelata con argilla (terra rossa?). Bisogna distinguere tra cinabro e vermiglione. Il cinabro naturale era largamente utilizzato dai Romani che tuttavia lo chiamavano minium. Esso si otteneva per triturazione del

minerale; Plinio colloca il cinabro tra i colori floridi e ricorda, in proposito le miniere di cinabro spagnole e quelle ubicate nella Colchide e, in Asia Minore, quelle nella regione di Efeso. Plinio ricorda ancora, nel libro XXXV della Naturalis Historia che il minium veniva steso, nei dipinti murali, al disopra di una base di syricum. Il syricum dovrebbe essere costituito di una mescolanza di sinopia e sandice: in Plinio la confusione tra i rossi è massima. Tuttavia è interessante, in Vitruvio, la notazione (che ritroveremo in Cennini) che il minium (cinabro) non può essere usato in fresco: Vitruvio (VII, 8,9) ricorda infatti il caso della decorazione del peristilio di Faberio, eseguita con cinabro, in breve alterato in nero a causa della luce. Un altro pigmento rosso è risultato costituito da ocra rossa anche questo disperso in calce magnesifera; è molto probabile in tal caso l'utilizzo di "terra rossa", deposito argilloso di origine continentale molto abbondante nel Salento (Dell'Anna & Laviano, 1987).

L'ocra rossa, risultante dalla trasformazione della goethite in ematite, poteva esser ottenuta anche dalla cottura dell'ocra gialla. Il suo uso in affresco è documentato fin dal tempo dei romani (le fonti lo chiamano cerussa usta).

8.2. *Le decorazioni pittoriche di San Metteo all'Arena di Monopoli (BA)*

Come già citato nel cap. 5.2. l'ipogeo di San Matteo all'Arena è un insediamento rupestre del territorio di Monopoli (Bari), costituito da un ambiente a forma quasi rettangolare, biabsidato diviso in due piccole navate da quattro pilastri. La decorazione pittorica, risalente al XII-XIII secolo, nell'abside maggiore raffigura una Vergine in trono con Bambino di grandi dimensioni, fiancheggiata dalle figure di due Arcangeli abbigliati con il *loros* bizantino. Questa pittura è composta da due strati sovrapposti di intonaco dipinto (Capitanio *et alii* 2005). Accanto all'abside principale, sul lato sinistro, è presente una grande parete dipinta in cui è raffigurata la scena della *Koìmesis o Dormitio Virgini*s e l'Assunzione che, allo stato attuale, appare molto rovinata. Sull'arcata che separa le due absidi è presente un interessante Crocifisso. Un ultimo dipinto, piuttosto decoeso, si trova di fronte all'abside minore in un piccolo vano: è raffigurata una Crocifissione, con due figure probabilmente riconducibili alla Vergine e San Giovanni.

Le indagini sugli intonaci hanno evidenziato che la calce è il legante degli strati preparatori e delle pitture murali. L'inerte è costituito da quarzo e calcare, con minori contenuti di feldspati e muscovite. In un solo caso, in un campione di malta molto tenace, tra i leganti sono stati riscontrati frammenti di cocciopesto intimamente associati a feldspati potassici, plagioclasi, calcite, ossidi di ferro.

Le pareti decorate dell'ipogeo di San Matteo all'Arena mostrano le seguenti colorazioni: rosso, giallo ocra e azzurro in varie tonalità. Il colore rosso è risultato essere legato sia alla presenza del minio (Pb_3O_4) che dell'ematite, questi due pigmenti non sono comunque stati mai trovati insieme. L'ematite è stata riscontrata esclusivamente nelle pitture di prima edizione pittorica, mentre l'ossido di piombo è stato rinvenuto in entrambe le edizioni.

I pigmenti usati per il colore giallo-ocra sono gli ossidi di ferro mescolati a calce, finemente dispersi in una matrice di minerali argillosi e silice. In un solo caso, e cioè in un frammento prelevato dall'aureola della Vergine raffigurata nella *Koìmesis*, è stata riconosciuta la presenza di un granato: almandino $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$. In un altro unico caso la composizione del pigmento è legata ad una miscela di ossidi di ferro e di manganese. Il colore azzurro è presente nelle pitture sia della prima che della seconda edizione pittorica. In un solo campione, prelevato dal fondo della *Kóimesis*, gli studi hanno evidenziato la presenza della lazurite: $(Na,Ca)_{7\text{-}8}(Al,Si)_{12}(O,S)_{24}[(SO_4),Cl_2,(OH)_2]$.

In tale ipogeo è stato inoltre effettuato un monitoraggio microclimatico, su un arco di tempo di circa un anno (luglio 2003-giugno 2004), che ha mostrato valori di umidità elevati (prossimi al 100%) e costanti, in condizioni di completo isolamento con l'esterno. Una progressiva diminuzione di temperatura è stata registrata invece nel mese di ottobre 2003, quando la chiesa è rimasta aperta a lungo per gli interventi di restauro. In tali occasioni si è osservato la comparsa di cristallizzazioni saline risultate essere composte esclusivamente da gesso.

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

AA.VV. (1982), Marmi di Puglia. A cura di V. Cotecchia, B. Radina e F. Zezza - Regione Puglia - Istituto Geografico De Agostini, Novara.

Acquafredda P., Delle Donne L., Laviano R. (1995): I materiali litoidi delle mura romane e del Castello di Canosa di Puglia (BA). Plinius, 14, pp. 21-23.

Arnold A. (1981), Nature and reactions of saline minerals in walls, The conservation of stones, Vol II, Bologna, pp. 13-23.

Arnold A., Kueng A. (1985), Crystallization and habits of salt efflorescences on walls. Method of investigation and habits, 5th Int. Congr. Deterior. Conserv. Stone, Lousanne, pp. 255-267.

Arnold A. e Zehnder K. (1989), Salt weathering on monuments, Atti I simposio Internazionale: "La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo", Bari 7-10, Giugno, 1989, Ed. Grafo, Brescia, pp. 31-58.

Baldassare G., Iannone A., Moresi M. (2001), Il Bacino marmifero di Trani (Puglia): zonazione con particolare riferimento alla continuità qualitativa della varietà Biancone. In Controllo ambientale delle attività di cava per lapidei ornamentali in importanti bacini estrattivi. 15-23, GEAM, Torino.

Baldassarre G., De Marco A. (1990), Preliminary Research on the Building Materials Used at the *Peucetii* Seattlement of Monte Sannace in Apulia, Southern Italy, Proceedings Sixth International Congress, International Association of Engineering Geology, Amsterdam, Netherlands, 6-10 August, Rotterdam, pp. 3031-3035.

Berger M. (1973), Un inédit italo-grec de la passion légendaire de Saint Etienne: les peintures murales de l'église Santo Stefano à Soleto en Terre d'Otranto. In "La chiesa greca in Italia dall'VIII al XVI secolo". Atti del convegno storico interecclesiale (Bari, 30 aprile-4 maggio 1969), III, Padova, pp. 1377-1388.

Bertelli G., Falla Castelfranchi M. (1981), Canosa di Puglia fra tardoantico e medioevo, Roma, pp. 7-21.

Caldara M., Ciaranfi N., Laviano R. (1988), Le brecce polifasiche quaternarie al bordo occidentale delle murge. Atti 74° Cong. Naz. Società Geologica Italiana: "L'Appennino campano-lucano nel quadro geologico dell'Italia Meridionale", Sorrento (Na), 13-17/Settembre/1988, Vol. B, Ed. La Stamperia, Benevento, pp. 46-50.

Caldarola F., Laviano R., Scandale E., Vona F. (2005), Il restauro dell'arco di S. Nicola a Molfetta: una pregevole riscoperta. Atti del convegno di studi in Scienza e Beni Culturali (XXI): "Sulle pitture murali"; 12-15 luglio 2005 Bressanone; Edizioni Arcadia Ricerche S.r.l. (Marghera-Venezia); pp. 557-562.

Campione A. (1991), Note sulla Vita di San Sabino di Canosa: inventio e translatio, in "*Puglia Paleocristiana e altomedievale VI*", Bari, pp. 624-625.

Capitanio D., Laviano R., Menga A., Meo-Evoli N., Vona F., Vurro F. (2005), Intonaci e pitture murali dell'ipogeo di S. Matteo all'Arena, Monopoli (Bari). Atti del convegno di studi in Scienza e Beni Culturali (XXI): "Sulle pitture murali"; 12-15 luglio 2005 Bressanone; Edizioni Arcadia Ricerche S.r.l. (Marghera-Venezia); pp. 1137-1146 con tavola n° 68.

Catalano I.M., Andriani S.E., Laviano R., Vona F., Daurelio G., Stea G. (2005), The influence and use of the SFR or LQS Nd: YAG laser beam on the cleaning and restoration of two diverse church façades. In: XV International Symposium on Gas Flow, Chemical Lasers, and High Power Lasers; edited by Jarmila Kodimová; Proceedings of SPIE, Vol. 5777 (SPIE, Bellingham, WA - USA) ISBN: 0-8194-5760-4; ISSN: 0277-786X; pp. 940-945.

Cennini C. (1437), Il libro dell'arte. Ristampa a cura di Franco Brunello, Neri Pozza Editore, Vicenza (1982), pp. 239.

Ciaranfi N., Pieri P., Ricchetti G. (1988), Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centromeridionale). In Mem. Soc. Geol. It. vol. 41, 449-460, Roma.

Cotecchia V., Zezza F. (1972), Sulla presenza del Giurese superiore nelle Murge settentrionali nei dintorni di Andria. Considerazioni geologiche e paleoambientali. In Geologia Applicata e Idrogeologia: vol. VII, pp. 173-181.

Cremonini G., Elmi C., Selli R. (1971), Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, F° 156 San Marco in Lamis. Minist. Ind. Comm. e Artig. (Servizio Geologico d'Italia), Roma.

Danieli F. (1975), La chiesa di S. Stefano in Soleto. In "Arte cristiana" 619, LXIII, pp. 121-197.

Dell'Aquila F., Messina A. (1998), Le chiese rupestri di Puglia e Basilicata, Adda, Bari, p. 48.

Dell'Anna L. (1963), Contributo allo studio dei calcari della Penisola Salentina. Periodico di Mineralogia, vol. 32, pp. 519-546.

Dell'Anna L. (1964), La glauconite dei calcari cretacei della Penisola Salentina. Periodico di Mineralogia, vol. 33, 2-3, 521-545.

Dell'Anna L., Laviano R. (1987), Penisola Salentina: stato delle conoscenze mineralogiche e geochimiche. Atti convegno "Le conoscenze geologiche del territorio salentino", Lecce, 12 Dicembre 1987, Quaderni Ricerche Centro Studi Geotecnici D'Ingegneria, 11, Lecce, pp 303-321.

Dell'Anna L., Laviano R. (1990), Cretaceous Limestone In Historic Buildings And Monuments Of Apulia (Southern Italy). Geochemical And Mineralogical Characteristics And Decay. Plinius, 2, pp 51-53.

Dell'Anna L., Laviano R., Zezza F. (1989), Caratteri geochimico-mineralogici del degrado in rocce di monumenti pugliesi. Atti I° Simposio Internazionale "La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo", Bari, 7-10/Giugno/1989, Ed. Grafo, Brescia, pp 275-280.

Eramo G. Laviano R, (2007), I materiali lapidei pugliesi: da materiali poveri a pietre ornamentali. International conference: "Stone building between innovation and tradition"; 22-23 febbraio 2007 – Napoli; Luciano Editore (Napoli); ISBN 88-6026-041-8; pp. 161-171.

Fonseca C.D. (1985), Il comprensorio della civiltà rupestre. Massafra (TA); Regione Puglia - Assessorato alla Cultura, CSPCR.

Francavilla F, Zavatti A. (1986), I nitrati nelle acque sotterranee, Ambiente: Protezione e Risanamento. Pitagora ed. Vol I: Le Acque.

Grelle F. (1991), Canosa e la Daunia tardo antica, in "Puglia Paleocristiana e altomedievale VI", Bari, p. 67.

Garavelli C.L., Laviano R., Vurro F., Zinco M. (1990), Idromagnesite nei materiali di rivestimento della chiesa ipogea di Santa Maria Della Grazia (Laterza, Puglia). Atti convegno Scienza e Beni Culturali "Superfici dell'architettura: le finiture", Bressanone, 26-29/Giugno/1990, Ed. Libreria Progetto, Padova, pp. 189-197.

Laviano R. (1977), Caratteristiche chimiche e mineralogiche di alcuni campioni di pietra leccese. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche; A.A.1976-77; Università degli Studi di Bari; Istituto di Mineralogia e Petrografia; pp. 64.

Laviano R. (1992), The rock churches of Madonna degli Angeli and Madonna delle Croci (Sassi di Matera, Basilicata, southern Italy): mineralogical and geochemical characteristics and decay of Calcarenite di Gravina. Science and Technology for Cultural Heritage, Pisa, 1, pp. 87-95.

Laviano R. (2004a), La cattedrale di S. Eustachio in Acquaviva delle Fonti (Bari): cause e meccanismi della cristallizzazione di efflorescenze e croste nere. Atti Convegno: "La Diagnostica per la Tutela dei Materiali e del Costruito"; 4 Dicembre 2003 – Caserta; Luciano Editore (NA); ISBN 88-88141-80-4; pp. 75-87.

Laviano R. (2004b), La chiesa di Santa Maria delle Grazie in Campi Salentina (Lecce): provenienza dei materiali lapidei utilizzati e loro forme di alterazione. Atti Convegno: "La Diagnostica per la Tutela dei Materiali e del Costruito"; 4 Dicembre 2003 – Caserta; Luciano Editore (NA); ISBN 88-88141-80-4; pp. 89-101.

Laviano R., Milella M., Sabbatini L., Scandale E., Cafaro M.P., Fragasso L., Grippo A., Schirone E. (2004a), Forme di degrado degli insediamenti rupestri nel territorio di Fasano (BR): statica e pitture murali nella chiesa ipogea di San Giovanni. Atti Convegno: "La Diagnostica per la Tutela dei Materiali e del Costruito"; 4 dicembre 2003 – Caserta; Luciano Editore (NA); ISBN 88-88141-80-4; pp. 129-139.

Laviano R., Milella M., Sabbatini L., Scandale E., Walsh N., Caldarola F., Colaleo R., De Mauro P., Moschettini G., Sabatelli L. (2004b), Forme di degrado negli insediamenti rupestri del territorio di Fasano: indagini sulla statica e sulle raffigurazioni pittoriche della chiesa ipogea di Lama d'Antico. Atti Convegno: "La Diagnostica per la Tutela dei Materiali e del Costruito"; 4 Dicembre 2003 – Caserta; Luciano Editore (NA); ISBN 88-88141-80-4; pp. 117-128.

Laviano R., Summa V. (1999), Incompiuta di Venosa (Potenza): caratteri mineralogici, petrografici e chimici dei materiali utilizzati e loro provenienza. Mineralogica et Petrographica Acta, vol. XLII, pp. 211-222.

Laviano R., Vona F., Acquafredda P., Melone N., Bisceglia V., Borrelli M.D., Calcagno B., Formicone P., Zito G.M. (2004c), I mosaici del battistero di San Giovanni a Canosa di Puglia: caratterizzazione dei materiali lapidei. Atti Convegno: "La Diagnostica per la Tutela dei Materiali e del Costruito"; 4 Dicembre 2003 – Caserta; Luciano Editore (NA); ISBN 88-88141-80-4; pp. 103-116.

Laviano R., Vona F., Damato B., Grimaldi E. (2004d), I mosaici della Basilica di San Leucio in Canosa di Puglia. Atti IX Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico (AISCOM); Aosta, 20-22 febbraio 2003; Edizioni del Girasole, Ravenna; pp 387-398.

Laviano R., Vona F., Melone N., Borrelli M. D.,Calcagno B., Formicone P., Zito G. M. (2005), I mosaici del Battistero di San Giovanni a Canosa di Puglia: analisi chimico-mineralogiche di materiali lapidei, cotti e strati preparatori. Atti X Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico (AISCOM); Lecce, 18-21 febbraio 2004; Edizioni Scripta Manent, Tivoli; pp. 549-560.

Laviano R., Vona F., Carrara I., Nicolardi D., Nuzzo E. (2006), I mosaici del complesso episcopale paleocristiano di San Pietro a Canosa. Atti XI Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico (AISCOM); Ancona, 16-19 febbraio 2005; Edizioni Scripta Manent, Tivoli; pp. 465-476.

Lorusso R., Laviano R., Vona F., Bellantuono R., Longobardi F. (2005), Gli affreschi di Santo Stefano di Soleto (Lecce). Atti del convegno di studi in Scienza e Beni Culturali (XXI): "Sulle pitture murali"; 12-15 luglio 2005 Bressanone; Edizioni Arcadia Ricerche S.r.l. (Marghera-Venezia); pp. 647-656 con tavola n° 37.

Luciani S. A. (1876), Storia della Chiesa Palatina di Acquaviva delle Fonti dal 1779 al 1875. Adda Ed., Bari.

Luperto Sinni E. (1996), Sintesi delle conoscenze biostratigrafiche del Cretaceo del Gargano e delle Murge. In Mem. Soc. Geol. It vol. 51, 995-1018, ff. 14, Roma.

Luperto Sinni E., Reina A. (1996), Nuovi dati stratigrafici sulla discontinuità mesocretacea delle Murge (Puglia, Italia meridionale). In Mem. Soc. Geol. It. vol. 51, pp. 1179-1188.

Maggiore M., Pieri P., Ricchetti G., Walsh N. (1983), Studio geologico, petrografico e tecnico sulle lastre calcaree usate per le coperture dei trulli di Alberobello (Bari). Studi geologici e geofisici sulle regioni pugliese e lucana, XII, Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari, Adriatica Editrice, Bari, pp. 29.

Milella M. (2000), Gli affreschi della chiesa rupestre di S. Matteo all'Arena di Monopoli. in "Monopoli nel suo passato"; Quaderni di storia locale a cura della Biblioteca Prospero Rendella", vol. 6, Monopoli, 7-23.

Moreno Cassano R. (1970), Il Battistero di San Giovanni a Canosa, in "Puglia Paleocristiana I", Bari, pp. 125-136.

Moreno Cassano R. (1976), Mosaici paleocristiani in Puglia, in "MEFRA", Tome 88, pp. 325-330.
Moreno Cassano R. (1992), Il Battistero di San Giovanni, in "Principi, imperatori e vescovi: duemila anni di storia a Canosa", Venezia, pp. 862-865.
Moresi M., Pappalepore M. (1993), Natura delle cristallizzazioni secondarie su murature e materiali lapidei nell'area di Bari, Miner. Petrogr. Acta, Vol. XXXVI, pp. 215-236.
Ricchetti G. (1975), Nuovi dati stratigrafici sul Cretaceo delle Murge emersi da indagini nel sottosuolo. In Boll. Soc. Geol. It., vol. 94, 1083-1108, Roma.
Ricchetti G. (1980), Contributo alle conoscenze strutturali della fossa Bradanica e delle Murge. In Boll. Soc. Geol. It., vol. 99, 421-430, Roma.
Ricchetti G. (1994), Le successioni sedimentarie. In: Guida all'escursione generale pre-congressuale e alla escursione tematica sul Cretaceo murgiano. Congresso Soc. Geol. It. - Bari.
Ricchetti G., Ciaranfi N., Luperto Sinni E., Monelli F., Pieri P. (1988), Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampaese Apulo, in Memorie Società Geologica Italiana, p. 57-82.
Ricchetti G., Pieri P., Moretti M., Spalluto L. (in stampa), Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 396 "San Severo", Regione Puglia, Bari, pp. 115.
Semeraro Hermann M., Semeraro R. (1997), Arte medievale nelle lame di Fasano. Fasano; Schena Ed.
Thompson D.V.Jr. (1956), The materials and techniques of madieval painting. New York.
Valduga A. (1965), Contributo alla conoscenza geologica delle Murge baresi. Studi geologici e morfologici sulla regione pugliese. Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Bari, Adriatica Editrice, Bari, pp. 1-14.
Volpe G., Annese C., Corrente M., De Felice G., Santis P. D., Favia P., Gallo D., Giuliani R., Leone D., Nuzzo D., Rocco A., Turchiano M. (2002), Il complesso episcopale Paleocristiano di San Pietro a Canosa. Prima relazione preliminare (campagna di scavi 2001), in Vetera Christianorum, 39, pp. 133-190.
Zezza F. (1974a), Le pietre da costruzione e ornamentali della Puglia: caratteristiche sedimentologiche-petrografiche, proprietà fisico-meccaniche e problemi geologico-tecnici relativi all'attività estrattiva. In Rassegna Tecnica Pugliese-Continuità, a. VIII, N. 3-4, pp. 1-51. Bari.
Zezza F. (1974b), Indagine geologico-tecnica sulle pietre da costruzione e ornamentali della Puglia. Atti I Conv. Intern. Coltiv. Pietre e Minerali litoidi, Torino, pp. 1-15.
Zezza F. (1976), Caratteristiche litogenetiche e forme della degradazione delle pietre da costruzione calcaree di origine biochimica. Rassegna tecnica Pugliese - Continuità, Anno 10 n° 2.
Zezza F. (1987), La pietra leccese della Basilica di Santa Croce indagine sullo stato di conservazione. Atti Ticinesi di Scienze della Terra, vol. 31.