

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

DIPARTIMENTO PER L'UNIVERSITÀ, L'ALTA FORMAZIONE ARTISTICA, MUSICALE E COREUTICA
E PER LA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

PROGRAMMI DI RICERCA SCIENTIFICA DI RILEVANTE INTERESSE NAZIONALE

RICHIESTA DI COFINANZIAMENTO (DM n. 30 del 12 febbraio 2004)

Ingegneria civile ed Architettura

**LE CAVE CONTINUE: CARATTERIZZAZIONE MERCEOLOGICA DELLE ROCCE ORNAMENTALI
LAZIALI DAL PASSATO AL PRESENTE.**

Coordinatore nazionale *Prof. Maurizio Violo*

Il gruppo di ricerca si è preliminarmente riunito svariate volte al fine di stabilire come gli intenti di ciascuna unità potessero confluire nel progetto generale e per mettere a punto i parametri comuni di esposizione dei risultati. Vi sono state quindi delle riunioni generali in cui si sono presentati le proposte delle singole unità e una squisitamente tecnica in cui si sono definite le schede da utilizzare per il rilevamento strutturale possibilistico dei fronti di cava, le schede per la caratterizzazione petrografia e mineralogica ed altre eventuali rappresentazione dei dati, in questo ambito si è discusso della strutturazione del GIS che avrebbe riunito i dati complessivi dei singoli progetti. Note interne riportano i risultati di queste attività, che sono consultabili sul sito web del progetto. Il sito web del progetto è stato aggiornato costantemente con i risultati delle varie attività nel corso dei due anni con il contributo di tutte le unità.

La ricerca ha avuto inizio con la ricognizione di alcuni siti estrattivi dell'area presa in esame, quella a sud di Roma. Si sono individuati dei temi di ricerca sui quali focalizzare lo studio allo scopo di completare esaustivamente lo schema del lavoro complessivo che poi verrà applicato a tutti i siti di interesse il cui studio verrà affrontato in seguito.

Sono stati individuati tre motivi di interesse storico artistico nell'area compresa tra Cisterna di Latina ed il Circeo: il Travertino di Cisterna di Latina, l'Alabastro del Circeo ed il Tufo utilizzato nella costruzione di Palazzo Caetani.

Il primo approccio è stata l'individuazione e la ricognizione delle due cave ancora accessibili del travertino di Cisterna di Latina. La Cava di San Biagio e la Cava Cotronia. Sono state rilevate le coordinate dei siti, ma in questa fase preliminare sono stati riportati solo su una base di ortofoto al fine di rettificare le informazioni erranee riportate su carte geologiche che indicavano come cave di tufi anche alcune cave di travertino. Nelle due cave prescelte si sono inoltre prelevati, secondo la reale successione stratigrafica e laddove presenti tracce di antica lavorazione rispettando le indicazioni normal, un numero di campioni sufficienti per effettuare lo studio petrologico e paleoambientale delle formazioni: studio macroscopico, studio mineropetrografico e/o paleontologico in sezione sottile, analisi chimica ossidi maggiori ed elementi in traccia, determinazione qualitativa e quantitativa del residuo insolubile, diffrattometria della frazione carbonatica, isotopi dell'ossigeno, del carbonio e dello stronzio. Ciò al fine di individuare parametri mineropetrografici, e/o paleontologici, geochimici, chimici, per la caratterizzazione delle varie cave antiche degli stessi litotipi nonché per la risoluzione di problematiche archeometriche tramite confronto di analoghi parametri di reperti di interesse storico artistico. I primi risultati ottenuti che saranno presentati in un lavoro al Convegno ASMOSIA 8 (Aix-en Provence Francia) [1], hanno permesso di individuare una netta separazione tra il travertino attuale (superiore), quello sottostante e quello "superficiale" (inferiore) dovuta ad ambienti di formazioni diversi, differente composizione chimica ed azione diagenetica e presenza di componenti paleontologiche o meno, nonché incidenza dell'azione batterica.

Nelle due cave è stato poi effettuato il rilievo dei fronti secondo i criteri che il gruppo ha deciso di adottare in fase preliminare durante la riunione tecnica tenutasi a Firenze sulla definizione dei protocolli di analisi dei materiali. Si è dunque utilizzata la scheda di rilevamento strutturale geomeccanico possibilistico per una descrizione dello stato dei fronti di cava, in particolare della Cava San Biagio. I risultati del lavoro di rilevamento, con le immagini e le dimensioni delle bancate sono stati illustrati in due posters presentati al Convegno di medio periodo tenutosi a Palmaria [2,3]. Ancora in cava di travertino è stato effettuato un profilo con georadar al fine di valutare lo spessore delle bancate e dunque la continuità del giacimento in profondità e le dimensioni delle bancate al di sotto del piano campagna.

I campioni provenienti dalle cave (Cotronia e San Biagio) sono stati tagliati e lucidati per uno studio di analisi d'immagine. Al fine di una classificazione delle varie tipologie commerciali dei campioni un primo approccio speditivo ha utilizzato un software commerciale di analisi d'immagine mediante il quale classificare i vari campioni di travertino secondo le classi merceologiche del più noto travertino romano, su cui era stato precedentemente applicato il programma. In un secondo momento per l'analisi dei campioni è stato sfruttato un programma, denominato "Prototipo per la certificazione di qualità dei materiali lapidei", sviluppato in ambiente LabVIEW®.

Tale software permette di effettuare un'analisi concernente gli aspetti pittorici, morfologici e tessiturali di un materiale lapideo.

Le caratteristiche pittoriche vengono analizzate mediante la scomposizione dell'immagine nelle componenti RGB e HSI ed il successivo calcolo di parametri statistici di ordine zero (media, deviazione standard, varianza, skewness, kurtosis, mediana, moda).

L'analisi morfologica del campione, costituita dalla ricerca di vacuoli, lacune ed eventualmente macchie, ove presenti, viene eseguita attraverso una sequenza di operazioni elementari di manipolazione delle immagini. Il travertino oggetto dello studio è stato analizzato tenendo sempre presente il termine di confronto maggiormente accreditato da un punto di vista storico e commerciale, quello cioè di Tivoli. Si è preferito utilizzare o sviluppare metodologie non distruttive e speditive che saranno poi applicate anche ad altri siti che presentano maggiori difficoltà di caratterizzazione e campionamento. Dall'analisi d'immagine sviluppata sui campioni prelevati si è evidenziato che questi ricadono in almeno tre delle classi commercialmente note del travertino romano, quella denominata "prima, commerciale" e seconda scelta" con un fattore di correlazione non alto tuttavia, questo dovuto essenzialmente al fatto che la costruzione della banca dati è stata effettuata sui parametri ottimizzati al riconoscimento del travertino di provenienza romana, di colore più chiaro e con maggiori uniformità nelle strutture. Il programma consente quindi, così come sviluppato, di verificare la piena appartenenza dei tipi del travertino di Cisterna alle classi commerciali del Travertino Romano, permettendo così la classificazione dei campioni prelevati nella cava di S. Biagio nelle categorie commerciali del travertino di Tivoli.

I risultati dei due processi di analisi d'immagine insieme con la ricostruzione del profilo delle bancate tramite georadar sono stati presentati in un articolo sottoposto all'attenzione della redazione della rivista GEAM [4].

Sono state individuate due cave antiche di Alabastro del Circeo, in cui erano coltivate due varietà di roccia. l'Alabastro "Ghiaccione" delle Batterie e l' Alabastro "Marrone Venato" o "Tartarugato" in Località Guardia D'Orlando. I filoni di alabastro costituiscono riempimento di fratture e vuoti nei calcari Liassici, con direzione generale E-W. Sono stati fotografati i fronti di cava con le tracce di lavorazione e sono stati prelevati preliminarmente campioni più accessibili alla base del piazzale di cava. E' prossimamente in programma di effettuare la completa campionatura della successione tramite prelievo verticale della parete al fine di effettuare una caratterizzazione petrografica, geochimica e isotopica dei vari tipi presenti. I risultati parziali sull'ubicazione e la caratterizzazione macroscopica della cave sono stati presentati nel convegno di medio periodo a Palmaria.

L'attenzione sui tufi è stata posta solo in via preliminare e sarà oggetto di approfondimento nel corso di questo anno. E' stato fatto un sopralluogo nei sotterranei di Palazzo Caetani, dove ci si appresta a fare una campionatura regolare per il riconoscimento e la caratterizzazione dei tipi

presenti. Sono stati valutati il grado di alterazione e di zeolitizzazione di alcuni campioni provenienti da aree già studiate (il Tufo Giallo delle Via Tiberina, anch'esso ampiamente utilizzato in edifici storici ed antichi) a scopo di confronto. Sono state fatte analisi diffrattometriche per valutare il grado di zeolitizzazione dei campioni e sono state applicate nuove tecniche di monitoraggio mediante sensori FBG (Fiber Bragg Grating) al fine di valutare in laboratorio la possibilità di utilizzare questi nuovi sensori per monitorare le deformazioni che intervengono in questi materiali a seguito di variazioni di temperatura e di contenuto d'acqua. Le prime prove con gli FBGs sono state illustrate in una memoria al congresso internazionale ATFO 2004 tenutosi a Chongqing [5]. Ulteriori analisi a completamento della caratterizzazione dei materiali e i dati sono stati oggetto di comunicazioni al Congresso Art'05 tenutosi a Lecce [6] ed al Third European Workshop on Structural Health Monitoring svoltosi a Granada [7]. L'applicazione delle fibre ottiche al monitoraggio di materiali e materie prime utilizzate in ambito dei beni culturali sta via via riscuotendo vivo interesse. La possibilità di rilevare strain micrometrici indotti sia da aumento di temperatura che da applicazioni di sforzi o altri elementi di disturbo consentono di monitorare escursioni termiche minime indotte ad esempio in ambienti museali dalla presenza di visitatori anche direttamente su statue dove l'applicazione delle fibre è esterna e non distruttiva. In particolare lo studio ancillare sulle fibre ottiche ha riguardato la messa a punto di metodi di incollaggio su tufi zeolitizzati. E' stato proposto un metodo di incollaggio con resina epossidica all'interno di campioni di tufo e si è verificata la capacità del FBG di registrare gli strain, sia introducendo i campioni in acqua che registrando unicamente le variazioni in ambiente termico controllato, si sono introdotti anche coppie termiche al fine di testare il rivelatore. Un ulteriore passo avanti è stato fatto sottoponendo i provini a cicli gelo-disgelo, anche qui sia in presenza di acqua che in assenza della stessa. Si è potuto verificare che dopo numerosi cicli, pur avendo i provini perdite in peso il sistema di monitoraggio continuava a funzionare correttamente e con la stessa sottigliezza di risultato. Le FBG's sono state inoltre testate nell'ambito di altri progetti tra cui CMS al CERN di Ginevra, ed in questo ambito sono state presentate varie note a congressi internazionali, tra cui "ICATPP05" a Como [8], al "10th Topical Seminar on Innovative Particle and Radiation Detectors" a Siena [9] e alla "11th Conference on Instrumentation" che si terrà a Vienna [10].

Il progetto in via di rendicontazione ha visto per l'unità di Roma "La Sapienza" la stretta coincidenza dei temi di studio e ricerca del Museo di Arte e Giacimenti Minerari, che è attualmente in via di allestimento nella nuova sede presso la Facoltà di Ingegneria del Polo di Latina. Sono quindi, parallelamente confluiti, i contributi delle varie Unità presentati nelle riunioni o nei convegni tra le integrazioni di materiale illustrativo della collezione museale. Sono stati preparati posters e altri sostegni didattici da inserire tra le bacheche delle oltre 150 lastre di rocce ornamentali provenienti dalle varie regioni italiane. Molti sono stati anche i contributi all'accrescimento della collezione didattica a disposizione degli studenti. Sempre nell'ambito dell'attività Museale è stato presentato al convegno organizzato da e presso i laboratori INFN di Frascati, "Comunicare Fisica 2005" un video illustrativo delle varie attività di estrazione in cava.

Il convegno il cui scopo è quello di sostenere e di promuovere le varie forme di divulgazione di materiale scientifico e della scienza stessa ha permesso di esporre ad un pubblico di non addetti ai lavori, con mezzi espressivi quindi anche diversi, le problematiche delle attività di cava e miniera, accanto alla comunicazione si è dunque anche presentato un breve video [11].

L'attività è proseguita poi ponendo particolare attenzione al completamento della caratterizzazione dei Travertini dell'area di Cisterna di Latina, sono stati studiati al fine di individuarne le modalità di deposizione e le caratteristiche sedimentologiche e petrografiche. Sono stati oggetto di completamento in una tesi di laurea dal titolo "Caratterizzazione ai fini archeometrici di una cava antica nel settore estrattivo di Cisterna di Latina (Lazio-Italia)" redatta da Francesca Stopponi che ha avuto come relatore la prof. Tucci e come correlatore il dott. Claudio Imperatori.

E' in via di completamento un articolo che comprenda più estensivamente lo studio sui travertini dal punto di vista minero-petrografico, i risultati preliminari sono stati oggetto di una memoria

presentata al Convegno di chiusura del PRIN tenutosi a Canosa di Puglia e sono stati pubblicati in un numero monografico della rivista GEAM [12].

Si è proseguito lo studio dell'alabastro del Circeo. Anche per questo litotipo sono state studiate le caratteristiche minero-petrografiche e i risultati preliminari sono stati oggetto di un intervento nel Convegno tenutosi a Canosa di Puglia, sono pubblicati negli atti dello stesso [13]. Anche per l'alabastro del Circeo è in corso di perfezionamento la stesura di una memoria che comprenda i dati finora raccolti sulle vari e tipologie.

È in progetto di effettuare un ciclo di prove geomeccaniche per caratterizzare sia i campioni di travertino che quelli di Alabastro dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche. Si proseguirà, inoltre lo studio per la caratterizzazione con analisi d'immagine dei vari tipi di travertino e di alabastro al fine di mettere a punto una procedura non distruttiva che aiuti nell'identificazione della possibile provenienza dei manufatti. Continuando in questo modo lo studio intrapreso con i soli campioni di Cava S. Biagio.

Nella fase di perlustrazione delle cave e ricognizione dei siti dimessi sono stati individuati siti nei quali non è stato finora possibile l'accesso, ma per i quali sono in via di definizione le modalità di visita, essendo su terreni privati, e sono state rilevate inesattezze riportate in carta geologica. Molte cave individuate come di tufo corrispondono in realtà a cave di pozzolana, alcune dimesse, altre ancora in attività. Si è deciso di effettuare ugualmente un campionamento regolare di queste al fine di valutarne le caratteristiche di composizione e l'eventuale possibilità di valorizzazione anche con destinazioni d'uso differenti.

Il campionamento dei Tufi di Palazzo Caietani, è stato rallentato dalla mancanza della disponibilità di una planimetria indispensabile al fine della giusta collocazione dei campioni prelevati per le analisi. Sono in corso sia il rilievo dei sotterranei che la ricognizione finale delle aree con affioramenti di tufi, che si sono rivelate in verità molto esigue e forse completamente obliterate dalle costruzioni del centro abitato.

È previsto per questi campioni un'analisi minero-petrografia al fine di caratterizzarli dal punto di vista genetico e composizionale per metterli anche in relazione ad analoghe materie prime di altre aree laziali più settentrionali. Inoltre su campioni di maggiori dimensioni verranno effettuate prove di incollaggio con resine epossidiche di fibre ottiche già testate su altri campioni di tufi analoghi, al fine di mettere a punto un sistema di monitoraggio che coinvolgerà tutta la struttura del Palazzo mediante il posizionamento di sensori FBG per la rilevazione di strain indotti sia da movimenti dovuti al traffico che da altre cause. È in via di definizione il progetto che verrà seguito con colleghi della Sapienza e da un collaboratore assegnista di ricerca il quale ha iniziato il suo lavoro nel gruppo solo nell'agosto di questo anno 2006. Infatti è stato perfezionato il concorso per l'assegno bandito in precedenza con il Prof. Violo di un assegno della durata biennale, finanziato dal Comune di Cisterna di Latina proprio sul tema del presente progetto PRIN. L'inserimento di un componente ancorché in ritardo, consentirà di seguire e auspicabilmente completare le linee di ricerca non ancora chiuse e di aprire i nuovi capitoli non affrontati.

È attualmente in itinere un corso di introduzione ai GIS seguito dal borsista al fine di predisporre una banca dati nella quale far confluire tutti i dati che si stanno via via raccogliendo sulle attività estrattive di questa area.

È in via di completamento una ricognizione per la creazione di una bibliografia completa che raccolga tutti i dati esistenti sia in ambito scientifico (geologico, petrografico, mineralogico) che storico e architettonico inerenti le cave, le rocce ornamentali ed i manufatti in cui queste ultime sono state applicate. Sarà tutto più facilmente fruibile quando verrà sistematizzata nel GIS anche questa importante parte del lavoro.

Certamente sono emersi nuovi spunti che hanno indotto a soffermarsi sulle tematiche descritte prima di passare allo studio di altre tipologie litologiche anche se importanti. Sono ancora vari i litotipi che dovranno essere studiati e caratterizzati perché sia completa la visione della situazione nell'area oggetto di studio. Ma l'interesse mostrato in generale anche in ambito internazionale per questa parte della provincia laziale poco conosciuta seppure con elementi di notevole interesse sia

naturalistico che geologico ed archeologico o architettonico, ci fanno pensare che non sarà tralasciata la conclusione di questo lavoro, e ci permette di continuare un aggiornamento degli studi in itinere nell'attesa di un upgrading che ci metta nelle condizioni di completare con un ulteriore finanziamento auspicato il lavoro progettato.

Bibliografia prodotta nel progetto

TUCCI P., SAVIANO G., IMPERATORI C., STOPPONI F., MORBIDELLI P., (2006). "characterization of some travertines exstract from ancient quarries in the area of cisterna di latina (latium, italy)". 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE AIX-EN-PROVENCE, ASMOSIA VIII. 12-18-06-2006. (vol. 1). ASMOSIA (ASSOCIATION FOR THE STUDY OF MARBLE AND OTHER STONES USED IN ANTIQUITY). (FRANCE).

SAVIANO G., PESCE C., ZOMPARELLI F., (2005). Le cave storiche dismesse di Cisterna di Latina: il travertino di palazzo Caetani e delle opere nella bonifica. ATTI DEL CONVEGNO DI MEDIO PERIODO "LE PIETRE DEL TERRITORIO. CULTURA, TRADIZIONE, SVILUPPO SOSTENIBILE", 17-18 ott. 2005, Isola della Palmaria (SP).

SAVIANO G., PESCE C., ZOMPARELLI F., (2005). Il travertino di Cisterna di Latina: la cava S. Biagio. ATTI DEL CONVEGNO DI MEDIO PERIODO "LE PIETRE DEL TERRITORIO. CULTURA, TRADIZIONE, SVILUPPO SOSTENIBILE", 17-18 ott. 2005, Isola della Palmaria (SP).

SAVIANO G., ORLANDO L., PESCE C., GARGIULO A., (2006). Le cave storiche dismesse del travertino di Cisterna di Latina: i siti, la storia, studio delle caratteristiche strutturali mediante georadar e di quelle estetiche mediante analisi d'immagine. GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. Vol. 117, 1-2, marzo-giugno 2006, pp. 33-43 ISSN: 1121-9041.

SAVIANO G., FELLI F., CAPONERO M.A., PAOLOZZI A., (2004). A preliminary study on strain measurements with FBGs in zeolitized tuffitic rocks. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED AND TRENDS IN FIBER OPTICS APPLICATIONS. ATFO 2004. October, 11-15, 2004. (vol. 1, pp. 303-307). ISBN/ISSN: 7-5624-3279-1. CHONGQING: Chongqing University Press (CHINA).

FELLI F., PAOLOZZI A., SAVIANO G., CAPONERO M.A., (2005). Non-Destructive Monitoring of Cultural Eritage Using Fyber Optic Sensors. Art'05. Lecce, 15-19 Maggio 2005. (vol. in CdRom A 181, pp. 1-21). 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON "NON-DESTRUCTIVE INVESTIGATIONS AND MICROANALYSIS FOR THE DIAGNOSTICS AND CONSERVATION OF THE CULTURAL AND ENVIRONMENTAL HERITAGE".

SAVIANO G., FELLI F., PAOLOZZI A., CAPONERO M.A., PUGLIESE L., (2006). Monitoring temperature and water imbibition in litic materials by embedded FBG sensors. In: Proceedings of the Third European Workshop Structural Health Monitoring. THIRD EUROPEAN WORKSHOP ON STRUCTURAL HEALTH MONITORING. Granada, Luglio 5-7, 2006. (vol. 1, pp. 447-454). ISBN/ISSN: 1-932078-63-0. LANCASTER: DEStech Publications, Inc. (UNITED STATES).

BASILE E., BELLUCCI F., BENUSSI L., BERTANI M., BIANCO S., CAPONERO M.A., COLONNA D., DI FALCO F., FABBRI F.L., FELLI F., GIARDONI M., LA MONACA A., MASSA F., MENSITIERI G., ORTENZI B., PALLOTTA M., PAOLOZZI A., PASSAMONTI L., PIERLUIGI D., PUCCI C., RUSSO A., SAVIANO G., (2005). Micrometric Position Monitoring

Using Fiber Bragg Grating Sensors in Silicon Detectors. ICATPP05, Villa Olmo (Como) Italy, November 2005. 5 pages, 6 figures. Nov. 2005. (pp. 5-10).

BENUSSI L., BERTANI M., BIANCO S., CAPONERO M.A., COLONNA D., FABBRI F.L., FELLI F., GIARDONI M., LA MONACA A., MASSA F., ORTENZI B., PALLOTTA M., PAOLOZZI A., PASSAMONTI L., PONZIO B., PIERLUIGI D., PUCCI C., RUSSO A., SAVIANO G., (2006). "The Omega-like: a novel device using FBG sensors to position vertex detectors within micrometric precision",. 10TH TOPICAL SEMINAR ON INNOVATIVE PARTICLE AND RADIATION DETECTORS. 1 - 5 October 2006.

BENUSSI L., BERTANI M., BIANCO S., CAPONERO M.A., COLONNA D., FABBRI F.L., FELLI F., GIARDONI M., LA MONACA A., ORTENZI B., PALLOTTA M., PAOLOZZI A., PASSAMONTI L., PONZIO B., PUCCI C., SAVIANO G. (in stampa). "PROPOSAL FOR POSITION MONITORING OF PIXEL DETECTOR OF CMS USING FBG SENSORS". THE 11TH VIENNA CONFERENCE ON INSTRUMENTATION. 19-02-2007. in press.

SAVIANO G., (2005). Suoni: la trasfigurazione dei rumori FRASCATI PHYSICS SERIES. Comunicare Fisica 2005 -. 24-27 ottobre 2005. (ITALY).

TUCCI P., SAVIANO G., IMPERATORI C., STOPPONI F., MORBIDELLI P., (2006). Caratterizzazione a fini archeometrici del Travertino di una cava antica nel settore estrattivo di Cisterna di Latina (Lazio, Italia). GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. Volume Monografico: Le Risorse Lapidiee dall'antichità ad oggi in area Mediterranea. pp. 319-324 ISSN: 1121-9041. Eds. V. Badino, G. Baldassarre. ISBN: 88-901342-6-7.

IMPERATORI I., TUCCI P., SAVIANO G., TULLIO W., (2006). Caratterizzazione minero-petrografica e geochimica di due cave di "Marmo Onice" del Monte Circeo (Lazio, Italia): Alabastro Ghiaccione e Cotognino. GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. Volume Monografico: Le Risorse Lapidiee dall'antichità ad oggi in area Mediterranea. pp. 201-206 ISSN: 1121-9041. Eds. V. Badino, G. Baldassarre. ISBN: 88-901342-6-7.