

IL RESTAURO DEL CASTELLO DI PUNTA TROIA DI MARETTIMO: RISULTATI PRELIMINARI DELLE INDAGINI DIAGNOSTICHE

Fabrizio Antonelli*, Stefano Cancelliere*

*Laboratorio di Analisi dei Materiali Antichi (L.A.M.A.) - Dipartimento di Storia dell'Architettura
Università IUAV di Venezia

Materiali e metodi

Dovrebbe ormai essere prassi comune (ma non lo è!), improntata al semplice buon senso e a elementari valutazioni economiche a medio e lungo termine, fare precedere da una adeguata indagine diagnostica a supporto della successiva fase di intervento (contemplando una voce specifica nel preventivo di spesa generale) qualsiasi progetto di restauro moderno e consapevole, relativo sia a importanti edifici per uso civile sia, soprattutto, a edifici con riconosciuto valore storico-artistico. Convinti che questo sia il solo modo per definire correttamente le strategie di cantiere e assicurare una maggiore riuscita e durevolezza al restauro del bene, nell'ambito dei lavori in atto sul Castello di Punta Troia di Marettimo (Fig. 1) sono state avviate indagini di laboratorio volte, da un lato, a caratterizzare i materiali lapidei e litoidi impiegati, dall'altro, utili a meglio definire le cause e i meccanismi all'origine delle loro principali macro e micro-morfologie del degrado. Vengono qui presentati i risultati preliminari ottenuti su una prima limitata serie di campioni prelevati dal monumento e indagati essenzialmente per valutarne l'eventuale contenuto in sali solubili e il suo impatto sul generale stato di conservazione dei materiali lapidei e litoidi impiegati.

Seguendo un criterio di rappresentatività dettato dalla



natura dei materiali lapidei e litoidi in opera nella fabbrica e dalle differenti forme di degrado riscontrate al momento del sopralluogo (Marettimo, 2 marzo 2006), sono stati prelevati sedici campioni (siglati MRTTn) dai prospetti ispezionabili sud-ovest e nord-ovest (Fig. 2). L'elenco dei prelievi, la loro localizzazione e una sintetica descrizione della tipologia del materiale campionato e delle principali forme di deterioramento su di esso osservate, sono riportati di seguito in Tabella 1. Per la caratterizzazione mineralogico-petrografica delle pietre da costruzione (composizione, struttura, classificazione) campionate ci si è avvalsi delle osservazioni in microscopia ottica (MO) con luce trasmessa di sezioni sottili standard e dei risultati dell'analisi diffrattometrica dei raggi X (XRD; Philips PW 1830: Cu K α /Ni, 40 Kv, 20 mA) effettuata sul *tout venant* dei campioni. Analisi chimiche mediante cromatografia ionica in fase liquida (HPLC; Dionex DX-120), mirate a quantificare la presenza degli anioni componenti i sali solubili eventualmente presenti (Normal, 13/83), analisi XRD delle polveri ricavate dalla sola superficie esposta dei campioni e analisi biologiche (AB) allo stereomicroscopio e su vetrino in soluzione fisiologica, sono state invece le tecniche d'indagine impiegate per definire la composizione dei prodotti di alterazione rinvenuti e la natura dei biodeteriogeni. Infine,

un campione di intonaco e uno di pietra da costruzione (appartenente alla tipologia apparsa più durevole e con il migliore stato di conservazione), sono stati sottoposti ad analisi porosimetrica mediante porosimetro a mercurio (Carlo Erba 2000), al fine di definire la percentuale di porosità aperta totale (P_{Hg}) e la distribuzione del volume dei pori in funzione del loro diametro, come prescritto dallo specifico documento Normal 4/80.

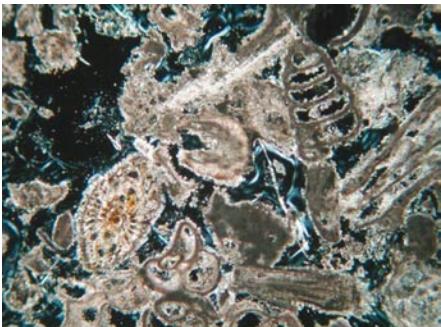
Il numero di campioni prelevati e le indagini su di essi eseguite, frutto di una ispezione conoscitiva preliminare, pur non essendo sufficienti a definire compiutamente la situazione complessiva dell'edificio, si ritiene possano essere già molto utili a meglio orientare il futuro intervento conservativo.

Risultati e discussione

Caratterizzazione dei materiali lapidei

Lo studio minero-petrografico condotto al microscopio polarizzatore, integrato dai dati ottenuti in diffrattometria dei raggi X (Tab. 2), ha consentito di identificare e classificare correttamente i differenti litotipi impiegati nella fabbrica del castello. Tra questi figurano:

- un calcare organogeno (# MRTT 1, 3), classificabile come *boundstone* (Dunham, 1962; calcare biocostruito) la cui ricca frazione bioclastica si compone di stromatoliti, alghe calcaree, bivalvi, anellidi e foraminiferi miliolidi



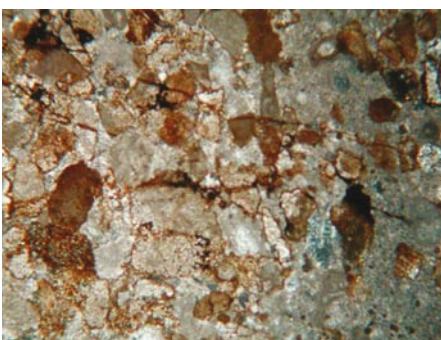
3

fig. 3 - Micrografia di una sezione sottile del campione MRTT 1: calcare organogeno scarsamente cementato ("tufo di Favignana"). Nicols +, lato lungo della foto = 3 mm.

fig. 4 - Micrografia di una sezione sottile del campione MRTT 9: calcare dolomitico compatto con hematite diffusa diffusa nella massa carbonatica. Nicols +, lato lungo della foto = 3 mm.

fig. 5 - Micrografia di una sezione sottile del campione MRTT 6: mostra il passaggio da grainstone (in basso) a mudstone del calcare dolomitico di cui alla Figura 11. Si notino i piccoli noduletti di silice contenuti nel mudstone. Nicols +, lato lungo della foto = 3 mm.

fig. 6 - Micrografia di una sezione sottile del campione MRTT 10: dolomia scarsamente cementata costituita da clasti carbonatici dolosparitici e micriticomicrosparitici. Nicols +, lato lungo della foto = 1,3 mm.



4



5



6

Tabella 1 – Localizzazione dei prelievi eseguiti, descrizione autoptica dei materiali e delle principali forme di degrado riscontrate e dettaglio delle analisi eseguite su ogni campione

MRTT1	"Tufo calcareo" fossilifero prelevato dal paramento murario del prospetto nord-ovest a circa 0,50 m di altezza dal piano di calpestio. Degrado: alveolizzazione (Fig. 3).	MO; HPLC; XRD
MRTT2	intonaco su calcare organogeno prelevato dal paramento murario del prospetto nord-ovest, a circa 1,50 m di altezza dal piano di calpestio.	HPLC; XRD
MRTT3	"Tufo calcareo" fossilifero prelevato dal paramento murario del prospetto nord-ovest a circa 0,80 m di altezza dal piano di calpestio. Degrado: patina biologica.	MO; XRD; HPLC; AB
MRTT4	intonaco con scialbatura di colore ocraeo prelevato dal paramento murario del prospetto nord-ovest (ingresso vano centrale) a circa 2,00 m di altezza dal piano di calpestio (Fig. 4). Degrado: distacco e lacune	HPLC; XRD
MRTT5	intonaco con scialbatura di colore biancastro su calcare dolomitico prelevato dal paramento murario del prospetto nord-ovest, a circa 0,80 m di altezza dal piano di calpestio (Fig. 5). Degrado: distacco	HPLC; XRD
MRTT6	Calcare prelevato dal paramento murario del sottoscala prospetto sud-ovest a circa 0,50 m di altezza dal piano di calpestio (Fig. 6).	MO; HPLC; XRD; PHg
MRTT7	"Tufo calcareo" fossilifero prelevato dal paramento murario del prospetto sud-ovest a circa 2,00 m di altezza dal piano di calpestio. Presenza di tracce di intonachino di colore biancastro.	HPLC; XRD
MRTT8	Malta di allettamento della muratura in blocchi di calcare dolomitico prelevato dal paramento murario sud-ovest a circa 0,80 cm di altezza dal piano di calpestio.	HPLC; XRD
MRTT9	Calcare prelevato dal paramento murario sud-ovest a circa 0,80 m di altezza dal piano di calpestio. Degrado: polverizzazione incipiente	MO; HPLC; XRD
MRTT10	Roccia carbonatica di colore grigio, prelevata dal paramento murario del prospetto sud-ovest a circa 0,80 m di altezza dal piano di calpestio (Fig. 7).	MO; HPLC; XRD
MRTT11	Malta di rinforzo prelevata dalla parete di fondo dell'ambiente interno (ingresso lato nord-ovest) a circa 0,80 m di altezza dal piano di calpestio (Fig. 8).	HPLC; XRD; PHg
MRTT12	"Tufo calcareo" fossilifero prelevato dall'ambiente interno (ingresso lato nord-ovest) a circa 1,20 m di altezza dal piano di calpestio.	HPLC; XRD
MRTT13	intonaco con scialbatura di colore biancastro, prelevato dalla parete interna a sinistra dell'ingresso del fronte sud-ovest a circa 1,50 m di altezza dal piano di calpestio. Degrado: patina biologica e umidità.	HPLC; XRD; AB
MRTT14	intonaco con scialbatura di colore biancastro prelevato dalla parete interna a destra dell'ingresso del fronte sud-ovest a circa 1,60 m di altezza dal piano di calpestio. Degrado: patina biologica (Fig. 9) e umidità.	HPLC; XRD; AB
MRTT15	Malta di allettamento della muratura in blocchi di calcare dolomitico prelevato dal paramento murario sud-est a circa 0,30 cm di altezza dal piano di calpestio. Degrado: polverizzazione dei giunti di malta.	HPLC; XRD
MRTT16	Malta di allettamento della muratura in blocchi di calcare dolomitico prelevato dal paramento murario sud-est a circa 0,80 cm di altezza dal piano di calpestio. Degrado: polverizzazione dei giunti di malta.	HPLC; XRD

Campione	Calcite	Dolomite	Quarzo	Alite	K-Mica	Plagioclasio
MRTT1	+++	±		±		
MRTT2	+++	++		+		
MRTT3	+++			±		
MRTT4	+++	+++	±			
MRTT5	++	+++	±			
MRTT6	++	+	++			
MRTT7	+++	±	+			
MRTT8	+++	++		±		
MRTT9	++	++	++	±		
MRTT10	+	+++				
MRTT11	++	+++	+	+		
MRTT12	+++	±				
MRTT13	/++	+++				
MRTT14	+++	++	+		±	
MRTT15	+++	+	±	±	±	
MRTT16	+++	++		±		±

Tabella 2 - Risultati delle analisi XRD eseguite sulle polveri ricavate dalle sole superfici esposte dei campioni. Legenda: +++ = molto abbondante; ++ = abbondante; + = presente; ± = tracce

e biseriati (Fig. 3). L'indagine diffrattometrica oltre a confermare la presenza dominante della calcite ha altresì rivelato tracce di alite (cloruro di sodio; superficie esposta del campione), la cui origine è chiaramente da imputare all'azione degli aerosols marini (Tab. 2);

- un calcare dolomitico molto compatto (# MRTT 6, 9), costituito da alternanze di orizzonti a grana fina e a grana più grossolana classificabili rispettivamente come *mudstone* (*micrite*) e *grainstone* (*dolosparite*) secondo lo schema proposto da Duhnam (1962). Ossidi/idrossidi

di ferro risultano frequentemente diffusi nella massa carbonatica nella quale sono presenti anche alcuni piccoli noduli di quarzo/calcedonio e abbondante quarzo detritico a grana fina (Figg. 4-5). L'analisi diffrattometrica della superficie esposta del campione (Tab. 2) ha rilevato la presenza prevalente di calcite, dolomite e quarzo e quella in tracce di cloruro di sodio (# MRTT 9); - una dolomia (# MRTT 10) classificabile come *grainstone* scarsamente cementato e fortemente poroso, costituito da clasti carbonatici dolosparitici e micritico-microsparitici variamente colorati da ematite e limonite diffuse. La componente bioclastica include alghe calcaree, piastre di echinidi e foraminiferi bentonici (Fig. 6). Assai scarso il quarzo detritico la cui presenza non risulta infatti dall'indagine diffrattometrica che ha invece evidenziato la presenza prevalente di dolomite e quella subordinata di calcite (Tab. 2).

Sebbene non siano state ancora avviate indagini puntuali finalizzate alla determinazione dell'origine geologico-geografica delle pietre impiegate per la costruzione del Castello di Punta Troia, in occasione del sopralluogo a Marettimo si è potuto constatare che dolomie e calcari dolomitici del tutto analoghi a quelli rinvenuti in opera (# MRTT 6, 9 e MRTT 10) affiorano estesamente in buona parte dell'isola e che gli stessi sono stati largamente

fig. 7 - Conci di calcari organogeni interessati da fenomeni di alveolizzazione.

fig. 8 - Intonaci interni coperti da patine biologiche.

sfruttati per scopi edilizi in passato (l'attività estrattiva si è conclusa solo da qualche decennio). Per quanto riguarda invece il calcare organogeno (# MRTT 1, 3), localmente chiamato *tufo*, le sue caratteristiche macroscopiche e la sua struttura microscopica sono del tutto simili a quelle che caratterizzano i “*tufi calcarei*” coltivati nelle numerose cave della parte orientale della vicina isola di Favignana (ad es. in località Scala Cavallo, Bue Marino, Cala Rossa, ecc.). Si ritiene dunque che proprio questa sia la sua provenienza più probabile e che esso possa essere stato impiegato nel corso di interventi di restauro o di trasformazione dell'originario nucleo del Castello.

La valutazione del contenuto in sali solubili e delle principali forme di degrado

Le principali morfologie del degrado riscontrate sui vari tipi di materiali (Tab. 1), comprendono (al di là dei crolli e delle emergenze statico-strutturali): mancanze, polverizzazione, alveolizzazione (Fig. 7), alterazione differenziale, fessurazione, patine e colonizzazioni biologiche (Fig. 8; per una più esaustiva descrizione delle stesse si veda il contributo di M. C. Cusenza, P. Calvino e A. Savalli in questo stesso volume). Considerato il particolare microclima che caratterizza la propaggine insulare di Punta Troia, caratterizzato da elevati tenori di umidità e forte ventosità, è apparso subito chiaro



7



8

che l'azione degli aerosols marini e la conseguente cristallizzazione salina all'interno del mezzo poroso dei materiali in opera, unitamente all'intensa colonizzazione biologica di buona parte delle superfici, potessero essere all'origine della maggior parte delle forme di degrado osservato. I risultati delle analisi chimiche dei sali solubili

disciolti negli estratti acquosi dei 16 campioni considerati, ottenuti mediante cromatografia ionica in fase liquida sono riportati in Tabella 3.

Da essa si evince come tra gli anioni identificati prevalgano nettamente i cloruri, la cui origine è direttamente legata agli spray marini che investono le murature del Castello,

Campione	Cloruri mg/L	Cloruri % (peso)	Nitrati mg/L	Nitrati % (peso)	Solfati mg/L	Solfati % (peso)	Nitriti mg/L	Floruri mg/L	Totale % (peso)
MRTT1	2536,132	3,33	240,677	0,32	268,541	0,35	assenti	assenti	4,00
MRTT2	2697,003	2,38	261,608	0,23	369,870	0,33	assenti	assenti	2,93
MRTT3	1292,467	1,71	35,241	0,05	574,763	0,76	assenti	assenti	2,52
MRTT4	310,065	0,32	10,835	0,01	61,625	0,06	assenti	assenti	0,39
MRTT5	131,070	0,07	assenti	-	41,261	0,02	assenti	assenti	0,09
MRTT6	52,489	0,05	11,124	0,01	43,571	0,04	assenti	assenti	0,09
MRTT7	167,444	0,26	10,397	0,02	53,865	0,08	assenti	assenti	0,36
MRTT8	5857,878	3,97	2374,602	1,61	707,154	0,48	assenti	assenti	6,06
MRTT9	174,118	0,39	21,939	0,05	42,955	0,10	assenti	assenti	0,54
MRTT10	414,303	1,14	106,741	0,29	91,870	0,25	assenti	assenti	1,68
MRTT11	1753,954	2,27	1578,019	2,05	455,042	0,59	assenti	assenti	4,91
MRTT12	1985,554	1,52	803,728	0,62	856,137	0,66	assenti	assenti	2,80
MRTT13	250,803	0,26	assenti	-	508,959	0,53	assenti	assenti	0,79
MRTT14	25,009	0,17	1,442	0,01	5,767	0,04	assenti	assenti	0,21
MRTT15	3941,336	3,08	1546,854	1,21	2418,658	1,89	assenti	assenti	6,18
MRTT16	3520,066	3,18	1310,953	1,18	253,034	0,23	assenti	assenti	4,59

Tabella 3 – Risultati della cromatografia ionica in fase liquida. Contenuto di anioni

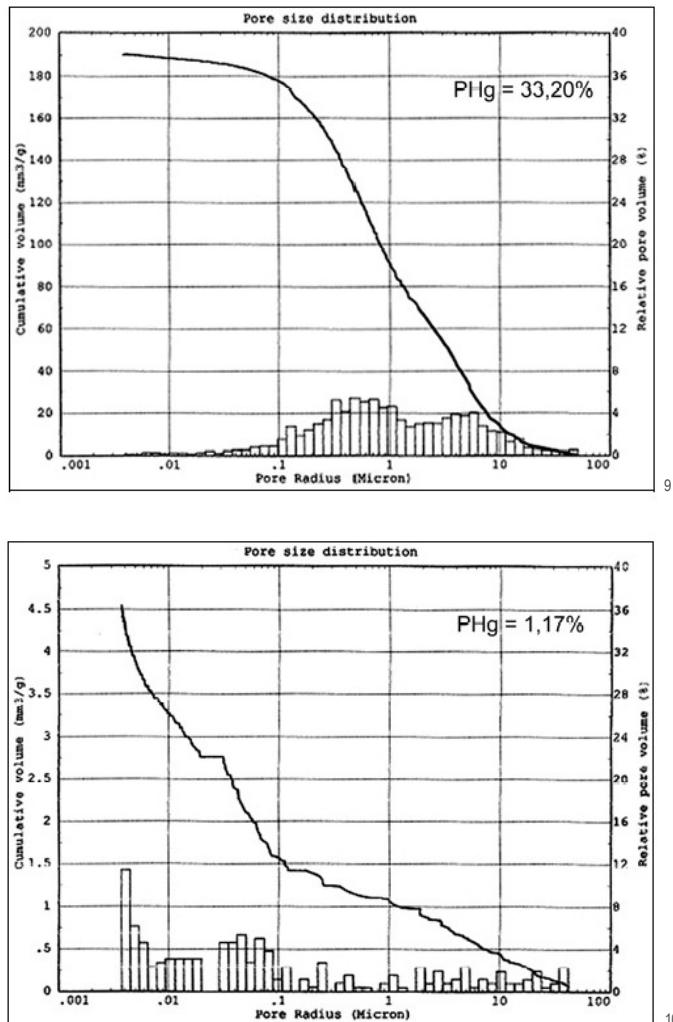
mentre la presenza di ioni solfato (forse derivanti da integrazioni con malte cementizie) e nitrato (di probabile origine biologica) è decisamente inferiore. I risultati di Tabella 3 evidenziano, inoltre, che, contrariamente a quanto atteso, poco meno della metà dei campioni trattati rivela un contenuto totale di sali solubili non particolarmente elevato. Ciò è probabilmente da imputarsi ai fenomeni di dilavamento delle superfici indotti dalle precipitazioni atmosferiche che hanno caratterizzato il periodo in cui è avvenuto il campionamento e suggerisce di effettuare ulteriori prelievi in altre stagioni. Si può comunque rimarcare che 8 campioni su 16 presentano una percentuale totale di sali superiore al 2,5%. In particolare, nel caso dei campioni di malta, materiale comunemente assai poroso – come conferma anche l'analisi porosimetrica eseguita su # MRTT 11 la cui porosità aperta P_{Hg} è risultata pari al 33,2% (Figg. 9-10 e Tab. 4) – il contenuto totale di sali supera sempre il 4,5% in peso e raggiunge il suo valore massimo (6,18%

in peso) nel campione MRTT 15. Decisamente più anomalo è invece il dato numerico relativo ai campioni di intonaco che, eccezion fatta per # MRTT 2 (2,93% in peso), presentano tenori totali di anioni bassi o molto bassi e comunque sempre nettamente inferiori all' 1 % in peso. Tale comportamento, comprensibile per i campioni MRTT 13-14, prelevati da ambienti interni e quindi più protetti nei confronti dell'apporto degli aerosols marini, non lo è pienamente per quanto attiene i campioni MRTT 4-5, esposti all'esterno. Anche in questo caso è possibile ovviamente invocare l'azione del dilavamento superficiale, ma, essendo questi i soli campioni di intonaco tra quelli prelevati ad essere caratterizzati da una scialbatura finale, si ritiene utile, nel corso di una successiva campagna di indagini già preventivata, ripetere il campionamento anche per potere meglio valutare caratteristiche composizionali e tessiturale di tali materiali. Infine, per quanto riguarda le pietre da costruzione, è significativo rilevare che mentre il “tufo calcareo” (calcare organogeno) è quasi

Tabella 4 – Risultati dell'analisi porosimetrica mediante porosimetro a mercurio

Campione	Porosità totale (P_{Hg} %)	Raggio medio dei pori	Densità apparente (g/cm^3)	Densità reale (g/cm^3)
MRTT 6	1,17	0,0041 μm	2,58	2,61
MRTT 11	33,20	0,4889 μm	1,74	2,61

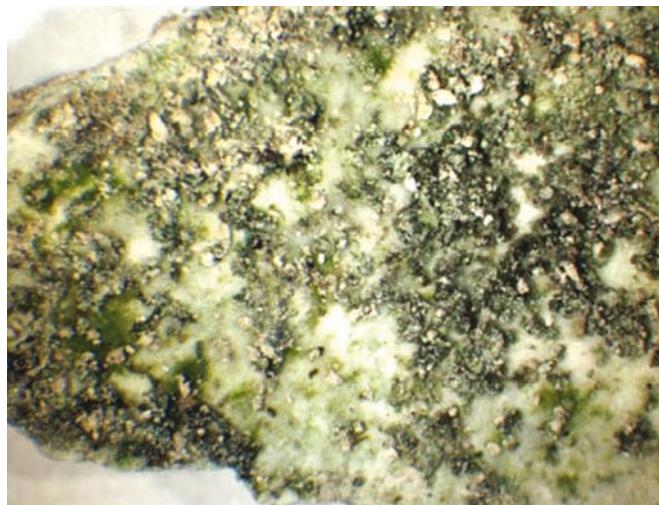
figg. 9-10 - Spettri porosimetrici dei campioni MRTT11 (intonaco; a sinistra) e MRTT 6 (calcare dolomitico; a destra). Si osservi come l'elevata porosità totale dell'intonaco (33,2%) sia data per oltre il 50% da famiglie di pori aventi diametro $\leq 1 \text{ mm}$. Come è noto, meso e micropori sono i principali responsabili di comportamenti "gelivi" e di scarsa resistenza alla cristallizzazione salina da parte di materiali lapidei e litoidi mediamente o molto porosi.



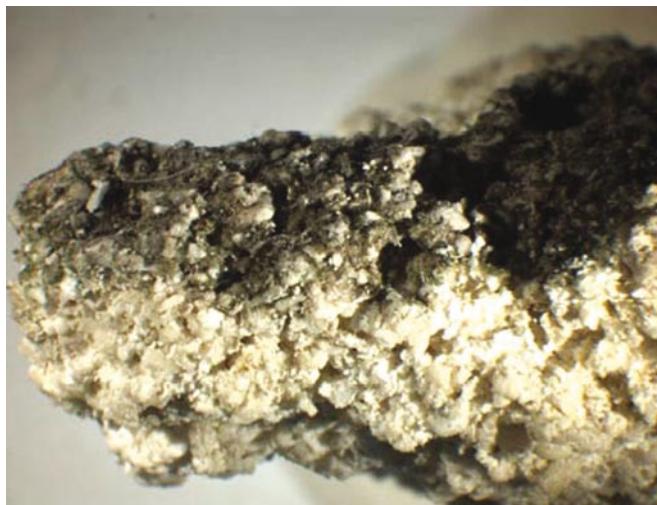
sempre caratterizzato da contenuti significativi di sali solubili, specie se in relazione a campioni prelevati da conci affetti da alveolizzazione (# MRTT 1 = 4% in peso, con netta prevalenza dello ione cloruro), il litotipo assai più compatto, risultato essere un calcare dolomitico, si caratterizza per contenuti totali molto bassi (0,09 e 0,54 % nei due campioni analizzati; cfr. Tab. 3). Ciò trova spiegazione nelle caratteristiche porosimetriche della pietra che si contraddistingue per avere valori di porosità aperta totale raggiungibile dal mercurio (Normal 4/80; Antonelli, Cancelliere, 2004) molto bassi, pari a 1,17%, con un diametro medio dei pori di 0,0041 micron (Figg. 13-14 e Tab. 4).

La presenza di materiali spesso caratterizzati da elevata porosità e quindi da più facile permanenza di umidità sulla superficie delle murature, unitamente al microclima dell'area, hanno favorito lo sviluppo di intensi ed estesi attacchi biologici (patine grigio-verdastre e piante infestanti). Onde definire la natura dei principali biodeteriogeni presenti, tre campioni delle tipologie di materiale in opera maggiormente affette da tale forma di degrado (#MRTT 3: "tufo calcareo" e #MRTT 13-14: intonaco) sono stati sottoposti a indagini biologiche allo stereomicroscopio e su vetrino in soluzione fisiologica. In tutti i casi, le superfici dei tre campioni hanno evidenziato

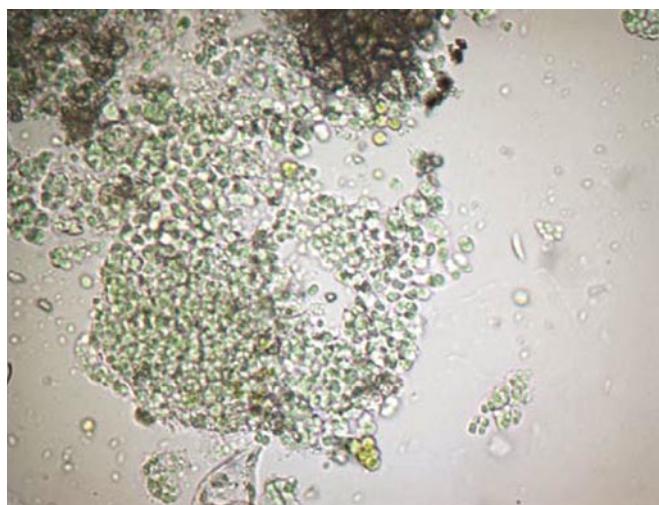
fig. 11 - (a) e (b): stereografie superficiali dei campioni MRTT13 (a) e MRTT 3 (b) mostranti la diffusione dei microrganismi verdi e grigio-neri in crescita e la colonizzazione biologica nerastro ad opera di cianobatteri. Si noti l'aspetto "corroso" della superficie dei campioni; (c): campione MRTT14, mostra gli elementi biologici (cianobatteri e alghe verdi) su vetrino in soluzione fisiologica; (d): stereografia trasversale del campione MRTT14, mostra la diffusione dei microrganismi verdi e grigio-neri in crescita sulla superficie e all'interno (microrganismi con colorazione verde brillante) dello strato di scialatura.



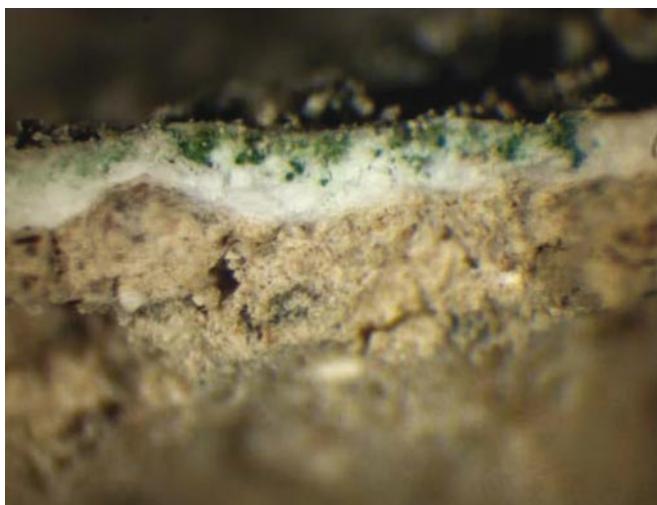
11a



11b



11c



11d

una intensa colonizzazione biologica che si manifesta sotto forma di patine o depositi, più o meno aggregati, di colore variabile dal verde al grigio (# MRTT 13-14; Fig. 11a) o grigio-nerastro (#MRTT 3; Fig. 11b). Essa è dovuta a microrganismi fotoautotrofi (cianobatteri ed alghe verdi), con una netta prevalenza di cianobatteri (Fig. 11c). Rara la presenza di ife fungine. La colonizzazione non è solo superficiale, ma, a seconda del tipo di substrato, penetra più o meno in profondità (alcuni millimetri) nel campione (Fig. 11d).

Conclusione

In conclusione, dato il contesto climatico-ambientale in cui sorge il Castello di Punta Troia, il previsto intervento di restauro dovrà necessariamente tenere in debito conto l'inevitabile esposizione all'azione aggressiva di biodeteriogeni e aerosols marini (alveolizzazione e polverizzazione potenzialmente indotte dalla pressione di cristallizzazione dei sali marni trasportati) a cui sono destinati i materiali da costruzione che nel corso dei lavori verranno impiegati per integrazioni, sostituzioni e rifacimenti. A tal proposito, in virtù di quanto osservato *in situ* e con il supporto delle evidenze di laboratorio sin qui prodotte, si suggerisce l'uso del locale calcare dolomitico (cfr. #MRTT 6, 9) come principale pietra da (ri)costruzione;

esso, infatti, grazie alle sue buone caratteristiche fisiche (bassa porosità, elevata compattezza), nel corso dei secoli ha mostrato di resistere al deterioramento meglio di ogni altra litologia in opera. In secondo luogo, una volta terminate le necessarie fasi di pulitura e consolidamento dell'esistente, sembra opportuno prevedere un adeguato trattamento delle superfici più a rischio (ad es. con protettivi bioresistenti).

Bibliografia

Antonelli F., Cancelliere S., Una caratteristica fisica importante delle rocce: lo studio della struttura porosa. In *Pietre e marmi antichi*, pp. 47-54, Cedam, Padova 2004.

NORMAL 4 / 80, *Distribuzione del volume dei pori in funzione del loro diametro*, CNR-ICR, Roma 1980.

NORMAL 13 / 83, *Dosaggio dei sali solubili*, CNR-ICR, Roma 1983.