



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

FLORE

Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

Beyond the limestone. Indagini sulle dinamiche degenerative per la rigenerazione del patrimonio costiero fortificato pugliese

Questa è la versione Preprint (Submitted version) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

Beyond the limestone. Indagini sulle dinamiche degenerative per la rigenerazione del patrimonio costiero fortificato pugliese / Michele Coppola, Claudio Natali, Cristina Tedeschi, Federica Mele, Samuele Ansalone. - In: RESTAURO ARCHEOLOGICO. - ISSN 2465-2377. - ELETTRONICO. - special issue 1/2023:(2023), pp. 616-623.

Availability:

This version is available at: 2158/1351611 since: 2024-03-04T20:01:25Z

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

Publisher copyright claim:

Conformità alle politiche dell'editore / Compliance to publisher's policies

Questa versione della pubblicazione è conforme a quanto richiesto dalle politiche dell'editore in materia di copyright.

This version of the publication conforms to the publisher's copyright policies.

(Article begins on next page)

Beyond the limestone. Indagini sulle dinamiche degenerative per la rigenerazione del patrimonio costiero fortificato pugliese

Michele Coppola | michele.coppola@unifi.it

Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Architettura (DiDA)

Federica Mele | federica.mele1@stud.unifi.it

Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Architettura (DiDA)

Claudio Natali | claudio.natali@unifi.it

Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Scienze della Terra (DST)

Cristina Tedeschi | cristina.tedeschi@polimi.it

Politecnico di Milano - Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale (DICA)

Samuele Ansalone | samuele.ansalone@stud.unifi.it

Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Architettura (DiDA)

Abstract

This ongoing research aims to contribute to the knowledge and conservation of the historical defense coastal towers of Puglia. Many of them are actually in a strong risk of loss due to the abandonment. Here are the results of a survey carried out on four selected towers in Terra d'Otranto. Through the integration of historical, architectural, technological and diagnostic investigations, the working team has highlighted the diversification of constructive attitudes (techniques and materials) within the same building program of the 16th century and in transformation phases. Over time, these choices have influenced the conservation of these artifacts. The laboratory investigations carried out on samples of material have highlighted the strong contribution of marine aerosol in the processes of disintegration of carbonate materials. The main dynamic of decay in relation of the nature of the materials and the intensity of external actions have been highlighted. The first results can direct the subsequent insights of the research aiming to outline the future conservation actions starting from the mitigation of physical damage.

Keywords

Coastal towers, Puglia, Marine aerosol, Calcarenitì, Alcolastismo

Introduzione

Nonostante la ricchezza di una testimonianza architettonica come quella del sistema delle difese costiere storiche pugliesi, lo stato di conservazione di questo complesso patrimonio è in condizioni prevalentemente critiche da decenni. Vento a raffiche, forte irraggiamento solare, mareggiate e aerosol marino, cicli secco-umido, termoclastismo, sono alcuni dei principali meccanismi di degrado dei materiali porosi carbonatici impiegati in prevalenza in questi manufatti. La porosità del materiale favorisce, attraverso le piogge, la penetrazione di grandi quantità di acqua, rendendolo sensibile ai processi di degrado dovuti all'azione disgregatrice dei sali¹. Con questi presupposti è stata avviata una ricerca, in collaborazione tra l'Università di Firenze (DiDA, DST) e il Politecnico di Milano, che intende mettere in luce le dinamiche fisiche e culturali che stanno conducendo alla scomparsa di molte delle torri costiere di Puglia. L'obiettivo specifico è la comprensione delle relazioni esistenti tra i processi degenerativi dei materiali carbonatici e l'azione erosiva dell'aerosol. Si presentano qui i risultati preliminari di un'indagine condotta su quattro torri situate in Terra d'Otranto. La scelta nasce conseguentemente ad un'analisi



Fig. 1. Torre Zozzoli (TA), veduta generale.

dello stato attuale delle torri costiere pugliesi che ha indirizzato un successivo approfondimento di due torri integre (Torre Castelluccia e Torre Punta Penne) e due torri in stato rudere (Torre Zozzoli e Torre Testa) poste in due province, Taranto e Brindisi. Lo studio dei due versanti opposti, ionico e adriatico, si basa sulla necessità di rintracciare eventuali diversificazioni delle dinamiche degenerative, in relazione all'esposizione su due versanti opposti. In questo senso sono state svolte analisi di laboratorio su campioni prelevati in modo selettivo, in accordo con le Soprintendenze competenti, con l'obiettivo di caratterizzare i materiali integri e di comprenderne le dinamiche degenerative dovute all'azione dei cloruri e di sottolineare eventuali diversificazioni di impatto dovute alla diversa esposizione.

I quattro casi studio in Terra d'Otranto

La Terra d'Otranto per la sua posizione strategica ha rappresentato da sempre un nodo cruciale per il presidio coloniale e per il controllo dei traffici marittimi del canale di Otranto². I primi progetti di protezione delle coste meridionali ebbero inizio già in età angioina, tramite l'edificazione di torri cilindriche in punti strategici³. Dopo la presa ottomana di Costantinopoli ebbe inizio un lungo periodo di incursioni piratesche⁴ e di attacchi corsari degli stati nordafricani vassalli di Istanbul che culminarono nel celebre assedio di Otranto del 28 luglio del 1480. A seguito di questi avvenimenti, prima con il Vicereame di Don Pedro de Toledo nel 1532, poi con l'editto del viceré Don Pedro Afán de Ribera del 1563, fu avviato un ampio programma di costruzione di un sistema di torri marittime che andò a integrare le preesistenti difese costiere medievali⁵. Con il tramonto delle minacce provenienti dal mare, molte torri furono sottoposte a rielaborazioni che ne ridefinirono la destinazione d'uso, molte altre furono liquidate a privati ed amministrazioni militari, finendo in molti casi in stato di completo abbandono⁶. Le torri oggetto di studio furono costruite in punti particolarmente strategici⁷: Torre Testa sul versante adriatico e Torre Zozzoli su quello ionico, furono costruite a difesa di due torrenti; Torre Punta Penne sorge alle porte della città di Brindisi, mentre Torre Castelluccia è l'unica su tutto il versante ionico tarantino costruita su un

piccolo promontorio. Quest'ultima, insieme a Testa e Zozzoli, si presenta come una tipica torre Vicereale dal corpo troncopiramidale a tre caditoie per lato in controscarpa, mentre Torre Punta Penne, pur classificata come Vicereale⁸, non presenta le caditoie ma una mensola superiore sorretta da beccatelli. Oggi le quattro torri sono in abbandono e versano in forte stato di degrado.

Metodi e strumenti di indagine

Per la comprensione dei fenomeni degenerativi in atto sulle quattro torri è stata avviata una ricerca sulle fonti bibliografiche e documentarie (cartografiche) per delineare le vicende storiche essenziali di questi edifici. Gli studi classici sull'argomento, come quelli di Faglia⁹, il Cisternino¹⁰ e il Pasanisi¹¹, sono stati passati in rassegna e affiancati da fonti più recenti come quelle del De Vita¹², del Cosi¹³, del Budano¹⁴, del Caprara¹⁵ e dello Scalzo¹⁶. Il rilievo architettonico e fotogrammetrico degli elevati è stato fondamentale per poter aggiornare eventuali variazioni dello stato di fatto e per avere un supporto alle successive indagini. Per ciascun elevato sono state condotte analisi sui caratteri architettonici (geometrie, dimensioni, modelli, ecc.), su quelli tecnologici (tipo e modalità di impiego dei materiali lapidei, aspetti peculiari delle tecniche murari, ecc.), su quelli evolutivi (letture stratigrafiche e indagini tipologiche su elementi ricorrenti) e su quelli degenerativi (localizzazione, distribuzione e intensità dei fenomeni degenerativi). Quest'ultima indagine ha consentito di identificare e documentare i fenomeni di degrado dei materiali lapidei, di ipotizzarne le possibili cause e di individuare i punti più significativi per il prelievo di campioni di materiale utili alle analisi di laboratorio. Il territorio in esame è caratterizzato da rocce carbonatiche sedimentarie, prevalentemente calcareniti e biocalcareni, chiamate generalmente tufi calcarei (più o meno compatti e porosi)¹⁷. Nelle quattro torri questi materiali sono stati impiegati in funzione della localizzazione e della funzione tecnologica. Blocchi squadrati in calcarenite si trovano impiegati nei cantonali e nelle caditoie. La muratura dei quattro setti perimetrali è a doppio paramento in conci irregolari e malta di calce



Fig. 2. Torre Testa (BR). Efflorescenze saline sul conglomerato di malta di calce e pietrame calcareo del nucleo interno.

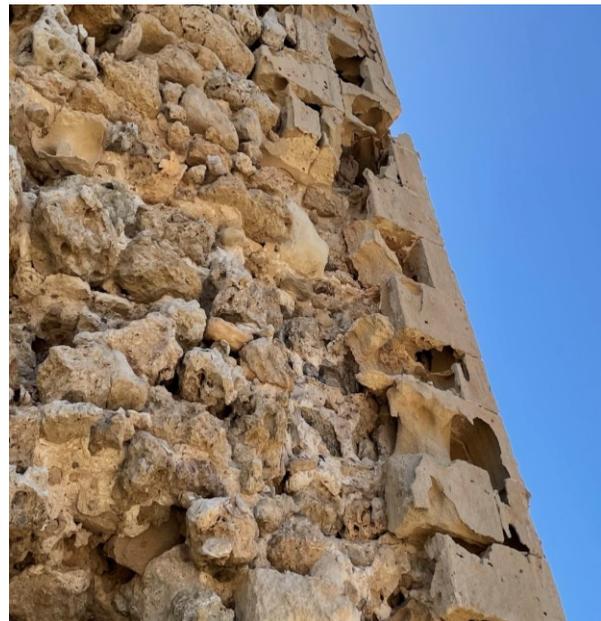
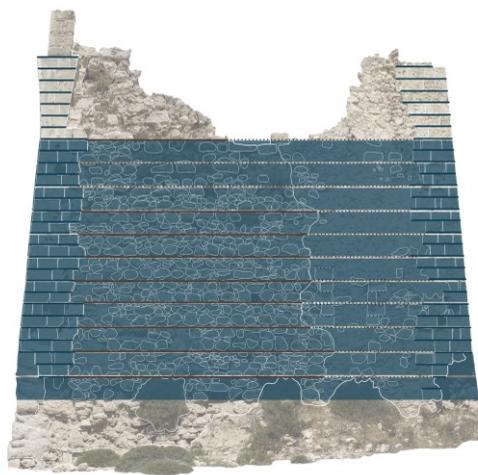
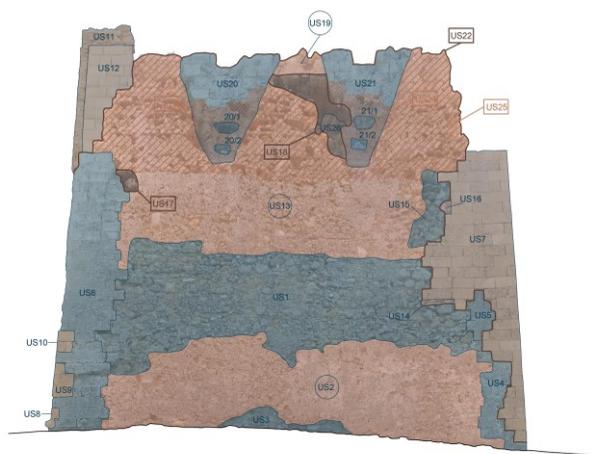


Fig. 3. Torre Zozzoli (TA). Alveolizzazione ed erosione dei blocchi squadrati di calcarenite dei cantonali.



Filari lineari dei blocchi regolari
Piani di orizzontamento dei paramenti a cantieri
Cantieri



Parti originarie
Parti modificate durante l'utilizzo
Parti integrate in restauri recenti
11 US positive
7 US negative
22 US positive di rivestimento
3/2 o 5b Sotto-unità
US negative

Fig. 4. Torre Zozzoli (TA). Studio tecnologico effettuato sul prospetto est con indicazione dei filari lineari dei cantonali, dei piani di orizzontamento del paramento murario centrale e della dimensione verticale dei cantieri. Si nota la scansione regolare ed omogenea delle fasi costruttive a cantieri nella misura del doppio palmo che si estende su tutto l'elevato. (Elab. F. Mele 2023)

Fig. 5. Torre Testa (BR). Lettura stratigrafica con indicazione delle azioni di aggiunta (US +) e di sottrazione (US -). È possibile notare le US positive relative al recente restauro che poggiano sulla grande US22 negativa di taglio estesa pressoché alla totalità della torre. (Elab. F. Mele 2023)

mista a zeppe, posti in opera secondo il sistema a “cantieri”, che consiste nell'impostazione, ad intervalli variabili, di orizzontamenti evidenti nell'apparecchio murario, spesso caratterizzati da uno spesso strato di malta di allettamento¹⁸. Il nucleo interno è costituito da un conglomerato di malta di calce e frammenti di pietrame calcareo. Tutte le torri presentano resti di vari strati di intonaco. L'indagine tipologica è stata condotta su tutti gli elevati analizzando la distribuzione dei caratteri ricorrenti e degli elementi in serie per rintracciare variazioni all'interno di porzioni apparentemente omogenee¹⁹. Per ciascuna torre sono stati indagati i seguenti fattori: dimensioni dei blocchi regolari dei cantonali (altezza e lunghezza), altezza dei filari in blocchi regolari, continuità dei piani di orizzontamento dei paramenti, altezza dei cantieri costruttivi. L'indagine stratigrafica ha determinato la sequenza cronologica delle fasi costruttive e di trasformazione di ciascun elevato in ogni torre²⁰. Entrambe le indagini evidenziano la presenza di discontinuità e integrazioni puntuali ed estese, dovute ad azioni intenzionali o al deperimento. Torre Zozzoli si conferma quella con minori alterazioni e più aderente al modello vice-reale, con una scansione costante dei cantieri pari a 2 palmi (1 palmo = 0,2636 m.), corrispondenti a due filari di blocchi quadrati dei cantonali.

I materiali lapidei e i loro processi di deperimento

I fenomeni di deperimento dei materiali lapidei sono stati identificati e localizzati. Torre Castelluccia è caratterizzata da evidenti fenomeni di infiltrazione di acqua discendente con conseguenti colature e patine biologiche. Si registrano diffuse fessurazioni e sub-efflorescenze che stanno disgregando gli intonaci esponendo il materiale lapideo sottostante. La vicinanza al mare di Torre Zozzoli determina una marcata disgregazione della calcarenite con consistenti distacchi e perdite che alterano la volumetria dei blocchi. Torre Testa è interessata da fenomeni

di alveolizzazione della pietra calcarea dei cantonali e dal degrado differenziale degli intonaci. Punta Penne, infine, presenta una ricca vegetazione infestante e infiltrazioni d'acqua dalle creste che solubilizzano i leganti carbonatici. Lo studio è confluito in una serie di analisi di laboratorio su campioni prelevati in situ. La selezione dei campioni si è basata su alcuni fattori tra cui la rappresentatività dei materiali lapidei e delle fasi costruttive, l'esposizione al mare e agli agenti atmosferici (vento dominante, soleggiamento). Per la pietra il prelievo si è concentrato sui conci dei cantonali, sul pietrame irregolare del paramento murario centrale e del nucleo e sulla roccia affiorante in situ. Per le malte il prelievo si è focalizzato su quelle di allettamento dei cantonali, su quelle del conglomerato interno e sugli intonaci. Tutti i materiali sono stati prelevati ad un'altezza approssimativa compresa tra il piano di calpestio e 1,70m.

Analisi di laboratorio su campioni di pietra

Per la pietra sono stati analizzati 12 campioni in laboratorio. L'osservazione macroscopica ha permesso di distinguere i gruppi di materiali prevalenti come la calcarenite tenera di colore grigio-biancastro e a grana fine e la bio-calcarenite tenace di colore giallo-rossastro e dalla grana più grossa, costituita prevalentemente da piccoli elementi conchigliiferi e fossili. Dall'osservazione di sezioni sottili in Microscopia Ottica in luce trasmessa (OM)²¹, tutti i campioni risultano essere calcari a bioclasti con cemento micritico variamente ricristallizzato (più o meno ossidato). Si differenziano tra loro per la granulometria dei clasti, da submillimetrica a centimetrica e dalla presenza o meno di silicati detritici di varie tipologie, dimensioni e quantità. Il confronto con campioni di roccia affiorante ha dimostrato che i blocchi dei cantonali non sono stati cavati in situ. La valutazione della porosità in sezione sottile ha registrato un aumento moderato crescente delle dimensioni dei pori in prossimità della superficie esposta del materiale. Questo è stato osservato anche sui campioni di roccia dei prospetti meno esposti, confermando anche su questi elevati un'intensa azione dell'aerosol marino. Un altro aspetto osservato riguarda la posizione dei sali al di sotto della superficie. A una maggiore porosità del materiale (correlata alla maggiore granulometria del campione) corrisponde una maggiore profondità di penetrazione e cristallizzazione dei sali,

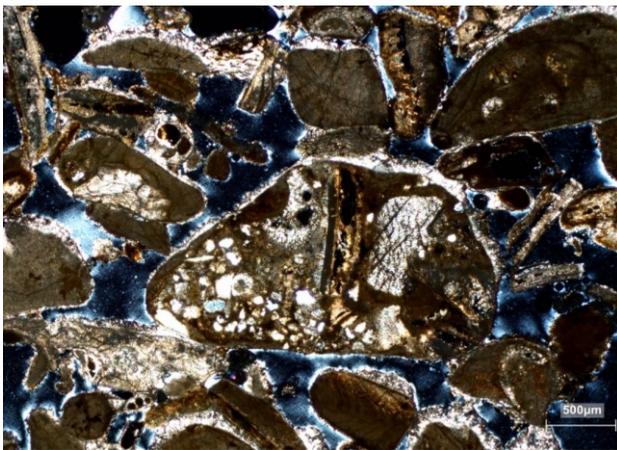


Fig. 6. Torre Castelluccia (TA). Sezione sottile del campione di pietra di un blocco del cantonale sinistro del prospetto est. Si presenta come un calcare a bioclasti (nummuliti, alghe bivalvi) di natura calcarenitica caratterizzato da estrema eterogeneità granulometrica (da millimetrica a centimetrica) con cemento micritico variamente ricristallizzato e parzialmente ossidato che include rari silicati detritici (quarzo) di dimensioni massime attorno ai 100 µm.



Fig. 7. Torre Zozzoli (TA). Immagine al SEM di un campione di pietra di un blocco del cantonale sinistro del prospetto ovest. I cristalli di Halite (NaCl) si dispongono nelle cavità e nelle porosità aperte. Le cristallizzazioni saline si presentano di tipo idiomorfo (tridimensionale). Riscontrate calciti aciculari in fase di cristallizzazione secondaria (sovrapposti all'halite).

come si è verificato nei campioni di Torre Zozzoli. Nel caso invece di una roccia con pori di minori dimensioni, la cristallizzazione avviene nello spessore più prossimo alla superficie esterna del materiale, spesso sottoforma di spalmature bidimensionali, come dimostrato in Torre Testa. I campioni selezionati sono stati analizzati anche al SEM (Scanning Electron Microscope) con microsonda a dispersione di energia (EDS)²². I sali riscontrati si presentano principalmente sottoforma di cristalli di halite (NaCl, cloruro di sodio) nelle cavità e porosità del materiale e delle varie bioturbazioni presenti. Sono state riscontrate anche ricristallizzazioni di calcite aciculare in Torre Zozzoli e calcite a zeoliti in Torre Punta Penne e di vari solfati presenti sui bordi delle porosità. Nei campioni delle quattro torri sono presenti particelle metalliche di particolato atmosferico rilevate al SEM in forma di piccole sfere di ferro con tracce di alluminio, fosforo e silicio ma ricche anche di REE (Rare Earth Elements). La presenza dei solfati e del particolato atmosferico in questi campioni potrebbe essere associata all'inquinamento atmosferico (l'aeroporto e la città di Brindisi, l'acciaiera ILVA e la stessa città di Taranto). Tuttavia, la pressoché totale assenza di processi di solfatazione, sembra escludere un decisivo contributo degli inquinanti al degrado di questi materiali: gesso come apporto esterno non è stato riscontrato in nessuno dei campioni esaminati. La principale forma di degrado delle calcareniti è senza dubbio l'aloclastismo, in diverse configurazioni e intensità, essenzialmente dovuto alla cristallizzazione dell'halite, ma anche della calcite. Torre Zozzoli risulta quella maggiormente soggetta a questo processo.

Analisi di laboratorio su campioni di malta

Lo studio delle malte è stato effettuato su 8 campioni. Questi materiali presentano tendenzialmente leganti a base di calce, dalla porosità variabile e colore dal grigio-biancastro al rosso-giallastro. L'aggregato, più o meno abbondante, appare di varia natura, forma e colorazione, con una granulometria compresa tra dimensioni sub-millimetriche e centimetriche. Su campioni di malta e intonaci sono state eseguite le analisi per la determinazione del tenore dei cloruri²³ e le porosimetrie ad intrusione di mercurio²⁴. La prima analisi si basa sull'estrazione, mediante acido nitrico (metodo di Volhard), dei cloruri presenti nella parte superficiale del campione. Il risultato è stato la verifica di una elevata concentrazione di ioni cloruro su tutti i campioni indagati, anche quelli provenienti da porzioni non direttamente esposte al mare. Anche in questo caso risulta cruciale il ruolo dell'aerosol marino nell'apporto di soluzione satura di halite in tutte le porosità superficiali dei materiali con la conseguente disgregazione del materiale. Peraltro, in alcuni casi come Torre Zozzoli e in Torre Punta Penne, è stato osservato che la presenza degli ioni cloruro, riscontrata in percentuale piuttosto elevata in tutti i campioni, risulta più alta nei prospetti meno esposti al mare. Questo dato conferma che l'apporto di soluzione satura da parte dell'aerosol marino non è legato alle correnti ma essenzialmente alla sospensione prolungata nell'aria della soluzione nebulizzata a contatto con le superfici architettoniche. Non si può al momento escludere che l'elevata concentrazione di cloruri nelle malte possa essere associata all'impiego di sabbia marina non lavata come aggregato o all'utilizzo di acqua di mare nell'impasto²⁵. Le analisi porosimetriche ad intrusione di mercurio hanno permesso di valutare la percentuale di porosità, così come la distribuzione dei pori in funzione del loro diametro. I campioni analizzati delle due torri del versante ionico si presentano maggiormente porosi rispetto a quelli delle torri del versante adriatico. Questo fattore può essere attribuito non solo ai processi di alterazione della porosità, ma anche alla

Campione esposto al mare	Cloruro (Cl) % media
TT_N_M1	0.6334
PP_N_M1	0.3331
TZ_S_M1	0.6454
TC_O_M1	0.5514
Campione non esposto al mare	Cloruro (Cl) % media
TT_O_P+M1	0.6455
PP_O_I2	0.3467
PP_S_M1	0.6729
TZ_N_I2	0.6697

Fig. 8. Tabella con i valori relativi al tenore dei cloruri nei campioni di malta prelevata dalle quattro torri. Analisi effettuata secondo la norma UNI EN 14629:2007.

porosità originaria del legante²⁶. Grazie ai grafici elaborati dalle analisi porosimetriche è stato possibile verificare che i pori maggiori si rilevano in tutti i campioni tranne che in quelli di Torre Zozzoli. Torre Castelluccia e Torre Punta Penne presentano malte e intonaci caratterizzati da una maggiore variabilità delle dimensioni dei pori. In tutti i materiali indagati la microporosità è comunque consistente, con diametri compresi tra 5 e 80 μm e con volumi di intrusione piuttosto elevati (20% e 40%).

Conclusioni

Lo studio in corso sulle torri costiere in Terra d'Otranto sta mettendo in luce numerosi aspetti relativi al deperimento di questi manufatti. Se da un lato l'approfondimento dei processi di sconnessione culturale con la collettività è cruciale per definire approcci di recupero adeguati e sostenibili, dall'altro appare evidente che la conoscenza materiale di questi oggetti è indispensabile a qualunque programma di conservazione. Materiali e tecnologie variano in funzione delle trasformazioni subite dagli edifici e dunque una corretta diagnosi può avere luogo solo correlando la lettura delle evoluzioni tecnologico-architettoniche alla diagnostica svolta in laboratorio. I valori storici e identitari sono veicolati proprio dall'autenticità materiale e questo determina l'urgenza di intervenire in modo adeguato per contrastare gli intensi fenomeni degenerativi dei materiali. La selezione di quattro casi studio su due versanti opposti aveva l'obiettivo di identificare le variazioni tecnologiche e degenerative. L'indagine svolta sulle tecniche costruttive e sui materiali ha permesso di evidenziare come il modello architettonico di riferimento sia stato declinato e realizzato in funzione della disponibilità di materiali locali, le cui proprietà hanno determinato una maggiore e minore predisposizione al degrado. L'identificazione delle fasi di trasformazione ha permesso di valutare la variazione dei livelli di criticità dello stato di conservazione nelle integrazioni svolte nei secoli e di indirizzare lo studio in laboratorio. Le analisi di laboratorio hanno confermato

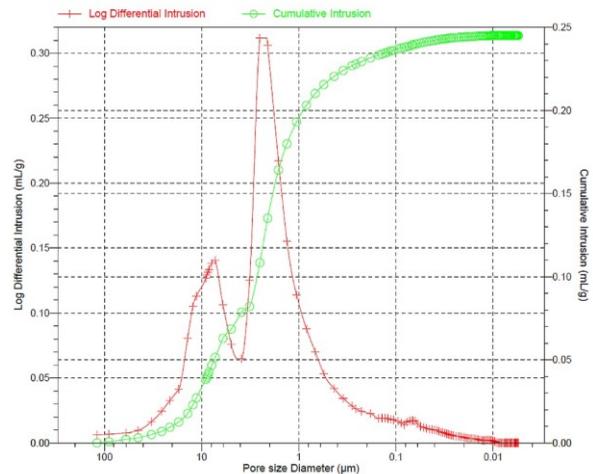


Fig. 9. Torre Punta Penne (BR). Grafico generato dalla porosimetria ad intrusione di mercurio (ISO 15901-1:2016) effettuata sul campione PP_S_M1 prelevato dal prospetto sud meno esposto. Si nota la presenza di due mode significative: una nella dimensione del diametro dei pori di 5 μm con volumi di intrusione che arrivano a 0.32 mL/g, decisamente maggiori rispetto agli altri campioni esaminati, e una moda nei 9 μm con volumi di intrusione di 0.14 mL/g.

la diversa natura delle rocce e delle malte impiegate e la loro conseguente predisposizione al degrado. Il fenomeno di deperimento di maggiore importanza è l'aloclastismo di rocce e malte dovuto all'apporto di sali da parte dell'aerosol marino. Il fenomeno si registra su tutti i lati degli edifici, dimostrando che il contributo del vento dominante è influente. Sembra piuttosto evidente il contributo delle acque meteoriche che, solubilizzando i sali, ne permettono la migrazione e la cristallizzazione a profondità maggiori. Questo è stato evidenziato non solo per l'halite ma anche per la calcite proveniente dalle malte. La disgregazione marcata appare accentuata dall'azione concomitante di agenti atmosferici (vento, pioggia e sbalzi termici). Il proseguimento della ricerca, con ulteriori approfondimenti diagnostici (monitoraggio ambientale) e conoscitivi, consentirà di delineare più chiaramente questi processi e di avviare un percorso di conservazione, partendo dalla salvaguardia dell'integrità fisica, che tenga conto dei principali rischi emersi.

¹ LORENZO LAZZARINI, *La conservazione dei monumenti lapidei nel bacino del mediterraneo, con particolare riferimento a quelli in pietre calcaree e marmi*, in M. Cristina Cusenza (a cura di), *Il restauro monumentale nelle Isole Egadi. Studio, analisi e progetti*, atti del convegno, (Favignana, 12-13 ottobre 2007), Palermo 2008, pp. 12-18.

² BIAGIO FEDELE, ALESSIO ARCANGELO, ORAZIO DEL MONACO, *Archeologia, civiltà e culture nell'area ionico-tarantina. Origini e sviluppo dell'artigianato ceramico*, Grottaglie, Banco Popolare Jonica 1992.

³ RAFFAELE DE VITA, *Castelli, torri ed opere fortificate di Puglia*, Bari, Adda Editore 1974, pp. 22-23.

⁴ ANDREA CHECCHI, *Torri costiere. La difesa costiera nel Salento dal XVI secolo*, Elison Publishing 2016, pp. 7-8.

⁵ MARIA LETIZIA TROCCOLI VERARDI, *Le torri costiere*, in R. De Vita (a cura di), *Castelli, torri ed opere fortificate di Puglia*, Bari, Adda Editore 1974, pp. 224.

⁶ RICCARDO CISTERNINO, *Torri costiere e torrieri del Regno di Napoli (1521-1806)*, Roma, Istituto Italiano dei Castelli 1977, pp. 108-109.

⁷ FLAVIO RUSSO, *Le torri costiere del Regno di Napoli: la frontiera marittima e le incursioni corsare tra il 16° e il 19° secolo*, Napoli, Edizioni Scientifiche e Artistiche 2009.

⁸ VITTORIO FAGLIA, *Censimento delle torri costiere nella provincia di Terra d'Otranto*, Roma, Istituto Italiano dei Castelli 1978, pp.125.

⁹ *ivi*

¹⁰ RICCARDO CISTERNINO, *Torri costiere...*, *op.cit.*

¹¹ ONOFRIO PASANINI, *La costruzione generale delle torri marittime ordinata dalla R. Corte di Napoli nel secolo XVI*, Napoli, I.T.E.A 1926.

¹² RAFFAELE DE VITA, *Castelli...*, *op.cit.*

¹³ GIOVANNI COSÌ, *Torri marittime di Terra d'Otranto*, Galatina, Congedo Editore 1992.

¹⁴ GIANFRANCO BUDANO, *Regine del mare: censimento delle torri costiere di Terra d'Otranto 2007-2011*, Independently published 2018.

¹⁵ ROBERTO CAPRARA, *Le torri di avvistamento anticorsare nel paesaggio costiero*, in D.Fonseca (a cura di), *La Puglia e il Mare*, Milano, Electa 1988.

¹⁶ MARCELLO SCALZO, *Le torri costiere per la difesa anticorsara in provincia di Taranto*, Firenze, Il David 1982.

¹⁷ ISPRA, *Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa*, «Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia», vol. 92/2014, 2014, pp. 248-312.

¹⁸ MARINA D'APRILE, *Murature campane in calcare di età aragonese*, in G. Fiengo e L. Guerriero (a cura di), *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali*, Napoli, Arte Tipografica Editrice 2003.

¹⁹ MICHELE COPPOLA, *Le indagini tipologiche in architettura*, Roma, Carocci Editore 2018.

²⁰ ANNA BOATO, *L'archeologia in architettura*, Venezia, Marsilio Editore 2020.

²¹ UNI 11176:2006, *Beni culturali. Descrizione petrografica di una malta. Approccio di tipo chimico.*

²² UNI 11305:2009, *Beni culturali. Malte storiche - Linee guida per la caratterizzazione mineralogico-petrografica, fisica e chimica delle malte.*

²³ UNI EN 14629:2007, *Metodi di prova - Determinazione del contenuto di Cloruri nel calcestruzzo indurito.*

²⁴ ISO 15901-1, *Evaluation of pore size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption - Part 1: Mercury porosimetry*, 2016.

²⁵ MICHELE COPPOLA, CRISTINA TEDESCHI, *Torri costiere in Puglia Settentrionale. Tra conoscenza e dissoluzione*, in S. F. Musso e M. Pretelli (a cura di), *Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione*, Roma, Edizioni Quasar 2020, p. 138.

²⁶ DARIO CAMUFFO, MARCO DEL MONTE, CRISTINA SABBIONI, *Influenza delle precipitazioni e della condensazione sul degrado superficiale dei monumenti in marco e calcare*, «Bollettino d'arte», vol. 1 n. 41, 1988, pp. 15-35.