POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Trattamento della contaminazione microbica in ambienti confinati mediante impiego di oli essenziali: il caso dell’Archivio di Stato di Torino

Original
Trattamento della contaminazione microbica in ambienti confinati mediante impiego di oli essenziali: il caso dell’Archivio di Stato di Torino / Benedetto, S.A., Bosco, F., Costa, I., Fissore, D.. - In: RASSEGNA DEGLI ARCHIVI DI STATO. - ISSN 0037-2781. - STAMPA. - Serie III:1(2025), pp. 192-213. [10.52056/9791257011062/10]

Availability:
This version is available at: 11583/3006832 since: 2026-01-22T12:33:46Z

Publisher:
Viella Editrice, Via delle Alpi, 32 - 00198 Roma.

Published
DOI:10.52056/9791257011062/10

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

16 October 2026

Stefano A. Benedetto, Francesca Bosco, Isabel Costa, Davide Fissore

Trattamento della contaminazione microbica in ambienti confinati mediante impiego di oli essenziali: il caso dell'Archivio di Stato di Torino[*]

Microbial contamination treatment in indoor environments using essential oils. Case study: the Turin State Archive

The case study presented in this article intends to illustrate the experimentation undertaken by the Turin State Archives, in collaboration with the Department of Applied Science and Technology of the Polytechnic University of Turin, aimed at testing the effectiveness of dispersing essential oils in the treatment of archival material compromised by the presence of deteriorating microorganisms. In particular, the efficacy of the essential oil of red thyme (Thymus vulgaris) was evaluated, with regard to its antimicrobial effect on filamentous fungi such as Alternaria alternata, Aspergillus niger and Penicillium frequentans, common contaminants in archives which were also detected, in noticeable concentrations, in the pilot room dedicated to the study. Analyses conducted in the laboratory on samples collected before, during and after the essential oil dispersion intervention returned significant results in terms of reducing the microbial load and slowing the growth of contaminating microorganisms. The data obtained therefore lead us to reflect on the advantages of using natural substances with recognised antimicrobial properties and suggest a path of renewal in the field of scientific research applied to the recovery of cultural heritage with methods that have a low environmental impact, are economically sustainable and safe for workers' health.

KEYWORDS: TURIN STATE ARCHIVES, POLITECNICO DI TORINO, RECOVERY OF CULTURAL HERITAGE, BIOCONTAMINATION OF HISTORICAL PAPERS, DETERIORATING MICROORGANISMS

Introduzione

La crescente presenza di studi scientifici in materia di salvaguardia del patrimonio culturale mediante il ricorso a composti naturali, ad esempio basati sull'impiego di oli essenziali, ha di recente destato l'interesse anche degli istituti preposti alla conservazione di materiale documentario unico e prezioso, quali archivi e biblioteche. Ricerche pubblicate in ambito internazionale[1], infatti, hanno dimostrato l'efficacia dei composti a base di oli essenziali nel rallentare e, eventualmente, inibire il processo di degrado del materiale archivistico e librario esposto ai rischi derivanti dall'azione combinata di muffe, batteri e, in generale, agenti microbici di varia natura.

[*] Responsabilità nell'elaborazione dei paragrafi: Introduzione e paragrafo 1 di Stefano A. Benedetto (Direttore dell'Archivio di Stato di Torino) e Isabel Costa (Funzionaria archivista di Stato in servizio presso l'Archivio di Stato di Torino); paragrafo 2, di Francesca Bosco (Professoressa associata del Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino) e Davide Fissore (Professore ordinario del Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino); Conclusioni, di Stefano A. Benedetto, Francesca Bosco, Isabel Costa e Davide Fissore.

1. F. Palla - M. Bruno - F. Mercurio - A. Tantillo - V. Rotolo, *Essential oils as natural biocides in conservation of cultural heritage*, in «Molecules», 25/3 (2020), 730, pp. 1-11, <https://doi.org/10.3390/molecules25030730>.

Rassegna degli Archivi di Stato, s. III, 1/2025
ISSN 0037-2781
DOI 10.52056/9791257011062/10
© Direzione generale Archivi
Ricevuto il 17 settembre 2024
Accettato il 17 aprile 2025

È forse superfluo ricordare che carta e pergamena non sono immuni ai danni provocati dal passare del tempo: esse sono, per struttura e composizione, continuamente messe in pericolo da fattori umani (usura, trascuratezza) e ambientali (temperatura, umidità). Questi ultimi, in particolare, se non adeguatamente monitorati e controllati – e talvolta, anche quando lo sono – possono innescare processi di colonizzazione e trasformare depositi umidi e polverosi in veri e propri incubatori per popolazioni microbiche[2].

Nonostante la lotta ai parassiti della cellulosa e del collagene sia una priorità per gli istituti che conservano documentazione, la ricerca di soluzioni innovative e atossiche ha spesso dovuto cedere il passo a metodologie tradizionali, basate sull'impiego di gas, principalmente composti di ammonio quaternario e ossido di etilene[3], la cui efficacia nel controllo e nella riduzione della carica microbica sulle superfici accessibili è stata ampiamente verificata. Il lato negativo di questi trattamenti risiede nell'elevato grado di tossicità dei composti chimici coinvolti che, in seguito, possono permanere nell'ambiente con concentrazioni potenzialmente tossiche per la salute umana, se non addirittura cancerogene. Per non parlare poi delle pesanti ricadute sull'ecosistema, dal momento che tali sostanze sono di difficile smaltimento e, accumulandosi, generano inquinamento chimico in ambiente terrestre e marino.

I nuovi filoni di ricerca, che propongono alternative atossiche, possono far pensare a una sorta di ritorno al passato, quando il ricorso a rimedi naturali per affrontare ogni tipo di disagio era parte fondante di una cultura della sostenibilità *ante litteram*. Gli effetti benefici delle cosiddette "piante della salute" erano note già in epoca antica[4] (si veda, tra gli altri, la *review* di Bakkali et al.[5]) ancorché non si fosse in grado di comprenderne a fondo i meccanismi d'azione. Le scoperte successive, che dimostravano come fosse possibile ottenere risultati analoghi, se non superiori, e in tempi significativamente più brevi, grazie all'impiego di composti chimici, resero quasi inevitabile la sostituzione delle tecniche antiche con metodi innovativi e più performanti.

2. F. Gallo, *Biological agents which damage paper materials in libraries and archives*, in «*Studies in conservation*», 6 (1961), pp. 55-61, <https://doi.org/10.1179/sic.1961.s015>.

3. Si veda a riguardo S. Sequeira - E. J. Cabrita - M. F. Macedo, *Antifungals on paper conservation: An overview*, in «*International Biodeterioration & Biodegradation*», 74 (2012), pp. 67-86, ISSN 0964-8305, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.011>; N. Valentín, *Microorganisms in museum collections*, in «COALITION CSIC Thematic Network on Cultural Heritage», 19 (2010), pp. 2-5; K. Sterflinger - F. Pinzari, *The revenge of time: fungal deterioration of cultural heritage with particular reference to books, paper and parchment*, in «*Environmental Microbiology*», 14/3 (2012), pp. 559-566, <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2011.02584.x>.

4. Plinio il Vecchio, ad esempio, dedica al tema della botanica una parte consistente della sua opera *Naturalis historia*: nei libri VIII-XXXII, tra le varie informazioni riferite sulla flora, si trovano interessanti indicazioni e suggerimenti riguardanti gli usi e le proprietà medicinali di alcune piante. In particolare, nella sezione sulle erbe officinali (libri XXV-XXVII) l'autore riferisce elementi di un sapere antico e tramanda tecniche di preparazione e ambiti di utilizzo.

5. F. Bakkali - S. Averbeck - D. Averbeck - M. idaomar, *Biological effects of essential oils*, in «Food and Chemical Toxicology», 46/2 (2008), pp. 446-475, <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>.

Come afferma Franco Palla:

> estratti biologicamente attivi (oli essenziali, idroalcolici) sono utilizzati da numerosi decenni in campo alimentare, cosmetico […]. In questo ultimo decennio, proprio la sicurezza ambientale e il ridotto impatto sugli operatori hanno permesso di ipotizzare l'utilizzo di questi prodotti naturali per la conservazione e il restauro sostenibile dei beni culturali[6].

Ciò a cui si assiste oggi è pertanto un'inversione di tendenza. Il processo di rinnovamento nel campo della ricerca scientifica applicata al recupero del patrimonio culturale, attraverso il ricorso a metodi a basso impatto ambientale e sicuri per la salute dei lavoratori, non può essere ignorato. Più tempo e più risorse dovrebbero essere investite per promuovere l'uso di sostanze già presenti in natura, dalle riconosciute proprietà repellenti, antibatteriche e antimicotiche. Negli ultimi venti anni, diversi lavori scientifici hanno illustrato l'efficacia degli oli essenziali nel controllo della carica microbica nell'ambito del patrimonio culturale, con particolare riferimento ai microrganismi biodeteriogeni. Nel lavoro di Rakotonirainy e Lavedrine (2005)[7] è stata evidenziata l'attività di differenti oli essenziali su ceppi fungini isolati da archivi. Nello studio condotto da Lavin et al. (2016)[8] è stata dimostrata l'attività biocida degli oli essenziali di timo (*Thymus vulgaris*) e origano (*Origanum vulgare*) nei confronti di *Scopulariopsis sp.* e *Fusarium sp.* isolati da documenti archivistici. Nella pubblicazione di Pietrzak et al. (2017)[9] è stato provato che l'olio essenziale di timo (*Thymus vulgaris*), efficacie nel controllo dei funghi biodeteriogeni, non presenta particolari criticità dal punto di vista della sicurezza del personale, nelle condizioni testate. La possibilità di impiegare una miscela di oli essenziali di origano, citronella e menta piperita (nell'articolo pubblicato non viene indicata la specie, ma è presente la composizione delle miscele testate) è stata recente oggetto di studio da parte di Tomić et al. (2023)[10] che evidenziano come la miscela di oli, per il caso in esame, consenta di ottenere risultati migliori rispetto al singolo olio. Una recente *review* relativa all'utilizzo di oli essenziali per la conservazione di materiali cartacei è stata

6. F. Palla, *Oli essenziali da specie di Lamiaceae nella Conservazione dei Beni Culturali*, in «*Atti dei Georgofili*», VIII/18 (2021), pp. 340-348.

7. M. S. Rakotonirainy - B. Lavedrine, *Screening for antifungal activity of essential oils and related compounds to control the biocontamination in libraries and archives storage areas*, in «International Biodeterioration & Biodegradation», 55/2 (2005), pp. 141-147, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.10.002>.

8. P. Lavin - S. G. de Saravia - P. Guiamet, *Scopulariopsis sp. and Fusarium sp. in the documentary heritage: Evaluation of their biodeterioration ability and antifungal effect of two essential oils*, in «Microbial Ecology», 71/3 (2016), pp. 628-633, <https://doi.org/10.1007/s00248-015-0688-2>.

9. K. Pietrzak - A. Otlewska - D. Danielewicz - K. Dybka - D. Pangallo - L. Kraková - A. Puškárová - M. Bučková - V. Scholtz - M. Ďurovič - B. Surma-Ślusarska - K. Demnerová - B. Gutarowska, *Disinfection of archival documents using thyme essential oil, silver nanoparticles misting and low temperature plasma*, in «Journal of Cultural Heritage», 24 (2017), pp. 69-77, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.10.011>.

10. A. Tomić - O. Šovljanski - V. Nikolić - L. Pezo - M. Aćimović - M. Cvetković - J. Stanojev - N. Kuzmanović - S. Markov, *Screening of antifungal activity of essential oils in controlling biocontamination of historical papers in archives*, in «Antibiotics», 12 (2023), 103, <https://doi.org/10.3390/antibiotics12010103>.

pubblicata da Menicucci et al. (2023)[11] evidenziando come siano ancora molto pochi gli studi relativi alla valutazione dell'efficacia degli oli essenziali a lungo termine, soprattutto su scala reale. Il caso studio di questo articolo intende illustrare il percorso di sperimentazione intrapreso dall'Archivio di Stato di Torino su proposta del Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino, finalizzato a testare l'efficacia della dispersione di composti a base di oli essenziali nel trattamento di materiale documentario compromesso dalla presenza di microrganismi deterioranti.

1. *Il caso studio: i locali interrati dell'Archivio di Stato di Torino*

1.1. *L'antefatto*

La catena di eventi che ha portato l'Archivio di Stato di Torino ad avviare, con la collaborazione del Politecnico di Torino, una sperimentazione basata sull'impiego di oli essenziali nel trattamento di alcuni fondi archivistici contaminati da muffe e agenti patogeni di varia natura risale al 2019 quando, per effetto di violenti temporali, rivoli di acqua piovana sono filtrati in alcuni locali interrati di Sezione Corte, innalzando bruscamente i livelli di umidità dei depositi. Sebbene l'Istituto disponga di un valido sistema di aerazione[12], programmato per ristabilire le giuste condizioni igrometriche in caso di eventi eccezionali come quelli sopra descritti, e nonostante i tempestivi interventi degli operatori, l'acqua, accumulatasi ai lati delle scaffalature, tra le vie di fuga delle piastrelle e all'interno dei *compactus*, aveva compromesso lo stato di conservazione dei fondi, intrisi di umidità in percentuale sufficiente a creare un ambiente favorevole alla proliferazione di microrganismi. Ironia della sorte, questi locali, chiamati "bunker" per la posizione sotterranea e la funzione di rifugio sicuro e inespugnabile, si sono trasformati improvvisamente in perfetti incubatori per i parassiti della carta. Nuove infiltrazioni d'acqua piovana si sono succedute nel corso dei mesi sino al completamento dei lavori straordinari di manutenzione avviati per sigillare crepe e fessure presenti nei muri perimetrali e per garantire la tenuta stagna delle porte di accesso ai locali interrati dal lato cortile. Le conseguenze del temporaneo cortocircuito nel processo di conservazione documentaria non hanno tardato però a manifestarsi e, già nell'autunno di quello stesso anno, colonie fungine di colore bianco sono comparse su scaffali, ripiani e faldoni, a testimoniare una contaminazione in crescita nonostante il ripristino, in tempi ragionevolmente rapidi, dei valori igrometrici comunemente considerati corretti[13].

11. F. Menicucci - E. Palagano - M. Michelozzi - A. Ienco, *Essential oils for the conservation of paper items*, in «Molecules», 28 (2023), 5003, <https://doi.org/10.3390/molecules28135003>.

12. In entrambe le sedi dell'Archivio di Stato di Torino è in uso un sistema per il trattamento dell'aria comprensivo di sensori per la misurazione e registrazione in continuo e in tempo reale dei dati di temperatura e umidità dei locali di stoccaggio dei materiali, degli uffici e degli spazi destinati al pubblico al fine di caratterizzare gli ambienti dal punto di vista termoigrometrico.

13. I livelli ottimali di 19°C con un'umidità relativa del 55% sono stati ripristinati a pochi giorni di distanza dal completamento degli interventi di asciugatura. Per le norme tecniche sul control-

Al fine di comprendere la natura di quegli agenti patogeni e attivare al più presto un intervento mirato di sanificazione, il personale del Laboratorio di restauro dell'Archivio di Stato di Torino ha avviato un campionamento capillare all'interno dell'area colpita[14]. Nel corso del sopralluogo, sono state rilevate numerose tracce di umidità di risalita sulle pareti delle sale nonché segni evidenti della presenza di acqua, ormai evaporata, sul pavimento e tra i *compactus.* La condizione generale dell'ambiente suggeriva un'eccessiva presenza di acqua all'interno delle scaffalature scorrevoli, poi confermata dall'umidità relativa del 15% misurata dalla sonda metallica dell'igrometro[15], un valore di molto eccedente l'intervallo ottimale compreso tra 6% e 8%. L'apertura a campione dei faldoni ha rivelato criticità affini a quelle sopradescritte: umidità tangibile, presenza di colonie fungine soprattutto sul materiale cartonato e fogli parimenti umidi e infragiliti in corrispondenza dei margini. Dall'analisi di laboratorio dei campioni microbiologici raccolti sono emersi, in definitiva, quattro generi di muffe: *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Alternaria* e *Penicillium*. Nessuna informazione è stata invece restituita riguardo alla natura dei microrganismi che hanno cagionato le macchie presenti sui supporti di conservazione, dal momento che, come si legge nella relazione, il pigmento prodotto da ciascuna specie fungina assume colore e intensità differenti a seconda del materiale su cui si deposita.

A conclusione dell'indagine, i restauratori hanno ipotizzato la riattivazione di un'infezione già trattata negli stessi ambienti nel corso del 2015 e probabilmente risvegliata, dopo uno stato di lunga quiescenza, dall'improvvisa presenza di acqua. In aggiunta, dalle osservazioni condotte in laboratorio sui campioni prelevati[16], sono emerse tracce di micelio anche all'interno delle fibre di cellulosa, a testimoniare che la carta, attaccata dai microrganismi, era diventata fragilissima e maggiormente esposta al rischio di sfaldamento. Le ragioni di quel repentino deterioramento sono tuttavia da ricercarsi in una molteplicità di fattori non tutti imputabili all'azione meccanica dell'acqua, sebbene questa sia la principale responsabile. Tra le altre possibili concause sono da annoverare la scarsa circolazione dell'aria, legata alla struttura stessa dei *compactus* che ha favorito la concentrazione di tassi elevati di umidità in corrispondenza dei corridoi interni agli armadi; l'assenza di interventi programmati di

lo del microclima, v. UNI 10829:1999 (per la misurazione e l'analisi delle condizioni ambientali di conservazione). Per i valori indicativi considerati ottimali per la conservazione di materiale cartaceo si vedano, a titolo di esempio, le indicazioni fornite dalla Soprintendenze archivistica e bibliografica di Piemonte e Valle d'Aosta <https://sab-piemonte.beniculturali.it/strumenti-e-materiali/requisiti-strutturali#:~:text=I%20valori%20indicativi%2C%20ottimali%20per,%2D60%25%20di%20umidit%C3%A0%20relativa> (consultato il 6 agosto 2025) e dalla Soprintendenze archivistica e bibliografica della Lombardia <https://sab-lom.cultura.gov.it/cosa-fare-per/sedi-di-archivi-e-biblioteche/condizioni-ambientali> (consultato il 6 agosto 2025).

14. La descrizione che segue ripropone i contenuti della relazione *post* sopralluogo redatta dai restauratori dell'Archivio di Stato di Torino in data 17 dicembre 2019, chiamati a verificare l'eventuale presenza di attività microbiologica nelle sale in cui erano state rinvenute tracce di acqua durante l'estate.

15. Il laboratorio di restauro dell'Archivio di Stato di Torino utilizza il modello *Aqua Boy*, un igrometro elettronico portatile, con precisione 0,1% a temperatura ambiente.

16. Le osservazioni sono state condotte mediante l'impiego del microscopio digitale *Dino-Lite AM4113T-FVW-X*, che ha restituito immagini con un livello ingrandimento pari a 250x.

spolveratura, indispensabili per prevenire la germinazione delle spore e la crescita microbica; i frequenti sbalzi dei valori termoigrometrici, legati a problematiche manutentive e di efficienza degli impianti di climatizzazione, che hanno seriamente compromesso la salubrità dei depositi e fornito un habitat ottimale per la proliferazione dei microrganismi.

A questo punto, è importante fare una precisazione, per non giungere a conclusioni affrettate circa l'inadeguatezza dei depositi d'archivio nel garantire la salvaguardia dei fondi. Non di rado, infatti, capita che gli uffici statali versino agli Archivi di Stato lotti di documentazione che, sebbene visibilmente compromessa, deve comunque essere acquisita in ottemperanza a quanto disposto dall'art. 41 del d.lg. 42/2004[17]. Nel caso preso in esame, una parte rilevante del materiale ammalorato era pervenuto già in pessime condizioni ed era stato, pertanto, monitorato e trattato nel corso degli anni. Ad ogni modo, indipendentemente dall'origine del degrado, il quadro che ne usciva in quel preciso momento era allarmante, con margini di peggioramento, e richiedeva soluzioni mirate e tempestive.

1.2. *Gli esiti degli approfondimenti diagnostici*

Ulteriori approfondimenti diagnostici sono stati commissionati al Centro di Conservazione e Restauro della Venaria Reale, istituto di fama nazionale nelle attività legate alla salvaguardia del patrimonio culturale e nell'identificazione e sviluppo di interventi preventivi e programmati per la sua messa in sicurezza. Partner d'eccellenza dell'Archivio già dal 2017 il Centro, che dispone di strumentazione d'avanguardia e personale altamente specializzato, è stato coinvolto con il duplice scopo di approfondire le risultanze delle indagini condotte internamente all'Archivio di Stato dal Laboratorio di restauro e indirizzare, in modo corretto, le richieste da inserire nel bando per l'affidamento dei lavori di sanificazione.

Il gruppo di lavoro che ha svolto il sopralluogo a marzo 2020 ha raccolto numerosi campioni con l'intento di verificare entità e natura delle attività biodeteriogene in corso; tuttavia, prima ancora di procedere all'esame del materiale prelevato, la semplice osservazione diretta e ravvicinata dei fondi ha rivelato una condizione generalmente compromessa caratterizzata da «estese colonizzazioni di miceti visibili sia sul dorso dei faldoni che sugli scaffali in metallo»[18]. La nuova indagine ha confermato inoltre quanto già riferito dal personale del Laboratorio di restauro in merito ai valori di temperatura e umidità relativa, giudicati non idonei alla conservazione dei documenti, e ha sollevato dubbi riguardo all'adeguatezza del sistema di archiviazione e di stoccaggio dei faldoni mediante *compactus* muniti di pannelli terminali perforati, con ogni probabilità responsabili dell'accumulo di particolato incoerente sui

17. L'art. 41, comma 1, del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, *Codice dei Beni culturali e del paesaggio*, dispone il versamento da parte degli organi giudiziari e amministrativi dello Stato all'Archivio Centrale dello Stato e agli Archivi di Stato competenti per territorio dei documenti relativi agli affari esauriti da oltre trent'anni.

18. Archivio di Stato di Torino (d'ora in poi ASTo), *Archivio dell'Archivio*, cl. 28.16/2020, fasc.14 (indagini diagnostiche condotte dal Centro Conservazione Restauro La Venaria Reale).

mazzi. Nell'attesa di avviare un intervento massivo di disinfezione e manutenzione straordinaria, considerata l'estensione dell'infezione, il personale addetto alle prese è stato invitato ad astenersi dal manipolare i faldoni contaminati e ad accedere alle sale proteggendosi con mascherine monouso e guanti in lattice. Nel frattempo, *fungi tape* e tamponi sterili impiegati nelle operazioni di campionamento di superficie hanno messo in luce la grande variabilità nella contaminazione, con aree prive di ife e altre, al contrario, completamente colonizzate. Questi risultati sono stati ottenuti attraverso un'indagine basata sul metodo colturale, particolarmente efficace in caso di organismi come i funghi, coltivabili nel 70% delle specie[19]. Il materiale prelevato, inoculato su dodici piastre di terreno MEA[20], è stato monitorato quotidianamente per un periodo di ventotto giorni, al termine dei quali su quattro piastre è stata riscontrata una crescita microbica importante. Il patrimonio archivistico campionato, costituito da documentazione raccolta in fascicoli inseriti all'interno di faldoni in cartoncino di dimensione 13x37x30 cm e 8x61x43 cm e cartelle a soffietto, era collocato su scaffalature bifronti, di tipo compattabile, realizzate in lamiera di acciaio e movimentabili manualmente tramite binari.

I dati scientifici in esito al sopralluogo hanno confermato l'urgenza di avviare un trattamento intensivo dei locali interrati, dando priorità alle sale in cui, in base alle analisi fatte, la crescita microbica è risultata più abbondante e manifesta. Lo studio prodotto dal Centro di Restauro, corredato da documentazione fotografica, comprende anche una serie di linee guida e indicazioni pratiche per l'identificazione degli interventi e dei materiali:

> […] *In primis*, le operazioni di spolveratura[21] e pulitura degli scaffali, da eseguirsi in due fasi, ossia mediante aspirazione della polvere e successivo lavaggio delle superfici metalliche con soluzione a base di alcol etilico puro al 70%; a seguire, asciugatura dei palchetti, pulitura e ricollocazione dei volumi secondo l'ordine originario […]. In merito si suggerisce di segnare su apposito schema grafico, riportante lo stato di fatto delle collocazioni sugli scaffali e i palchetti, tutti i movimenti effettuati durante le operazioni che coinvolgono la movimentazione dei manufatti […][22].

fino a scendere nel dettaglio:

> […] La spolveratura esterna di ogni unità, compresi tagli, piatti e dorso, dovrà essere eseguita mediante spazzole morbide collegate ad aspirapolveri con potenza non superiore a 1 HP e dotati di speciali filtri con porosità non superiore a 10 micron, con inserito all'interno di un ulteriore filtro anti-intasamento. La pulitura dei piatti e dorsi dei volumi, sempre secondo necessità e nel rispetto dellostato di conservazione, potrà essere eseguita anche con panni antistatici da sostituirsi frequentemente. La pulitura manuale

19. *Ibidem*.

20. Sono state impiegate piastre con diametro 9 cm di terreno MEA (*Malt Extract Agar*; avente la seguente formulazione: 1 L di acqua deionizzata, 20 g di estratto di malto, 20 g di glucosio, 2 g di peptone e 18 g di agar) come terreno di coltura.

21. La superficie totale da trattare è stata stimata in circa 28.000 mL.

22. ASTo, *Archivio dell'Archivio*, cl. 28.16/2020, fasc.14 (indagini diagnostiche condotte dal Centro Conservazione Restauro La Venaria Reale).

> di eventuali manufatti in precario stato di conservazione dovrà essere eseguita con cautela, valutando caso per caso le metodologie da impiegare, utilizzando pennelli provvisti di setole di diversa morbidezza, con frequente sostituzione […], valutando i casi in cui si dovrà operare solo tramite apparecchiature aspiranti, con ridotta potenza di aspirazione e frequente sostituzione dei filtri e spugne a base di gomma naturale vulcanizzata per la rimozione di particolato e residui biologici più resistenti[…]. I volumi attaccati dal fungo *Chaetomium e Aspergillus* dovranno essere trattati tramite […] soluzione idro-alcolica (etanolo puro) al 70% v/v (30 ml di acqua distillata e 70 ml di alcol etilico puro al 99%). In considerazione della vitalità dei miceti […] potrà essere valutata una seconda applicazione di una soluzione disinfettante con prodotti a base di benzalconio cloruro al 3% in etanolo a pH 6[23].

I contenuti dell'elaborato, dal taglio prettamente tecnico, sono stati qui riportati per illustrare le caratteristiche dei trattamenti tradizionali che oggi si applicano ai fondi d'archivio seriamente compromessi dalla presenza di agenti infestanti: l'impiego di prodotti chimici è ancora considerato il rimedio più efficace, se non l'unico possibile, per debellare e contenere la proliferazione di muffe e batteri. La maggior parte dei prodotti a cui si fa riferimento per inibire o interrompere la crescita degli indesiderati microrganismi rientra nella classe dei composti chimici sintetici (come il benzalconio cloruro) i quali, sebbene svolgano egregiamente la loro funzione antimicrobica, risultano tuttavia altamente tossici, pertanto pericolosi sia per l'operatore che esegue l'intervento, sia per i manufatti che vengono trattati, sia per l'ambiente in cui si disperdono i residui.

Dati i caratteri di urgenza, i lavori di spolveratura e disinfezione dei locali sono stati affidati a una ditta specializzata ed è stato inserito nella routine dei lavori di manutenzione ordinaria anche il monitoraggio costante dello stato dei fondi da parte di archivisti e personale addetto alle prese.

Vale ora precisare che i professionisti nel recupero del materiale biodeteriorato conservato negli archivi si attengono generalmente a protocolli piuttosto rigidi che, a seconda dei casi, prevedono il ricorso a: sali quaternari di ammonio, i cui danni a carico dell'ambiente e della salute umana sono stati denunciati in numerosi studi; radiazioni ionizzanti, una tecnica ancora poco diffusa in Italia, efficace nella lotta agli agenti infestanti, ma potenzialmente impattante sulla struttura della carta; liofilizzazione[24], in caso di documenti alluvionati, scenario che presenta problematiche diverse rispetto al caso preso in esame.

23. *Ibidem*.

24. La tecnica della liofilizzazione si applica in presenza di materiale archivistico alluvionato e, se da un lato è particolarmente efficace nell'essiccare la documentazione minimizzando l'effetto di questa operazione sul patrimonio documentario, dall'altro, l'effetto sulla carica microbica non è univoco, probabilmente in relazione al fatto che le differenti classi microbiche rispondono al trattamento in modo dipendente dalla specie e dalla fase di crescita. Pertanto, a valle dell'operazione di asciugatura, è comunque da prevedersi un intervento di disinfezione. Si veda a riguardo: M. Bicchieri - M. Monti - P. Livi, *La liofilizzazione quale intervento di recupero di volume danneggiati da catastrofi naturali*, in *Atti del IV Congresso Nazionale Associazione Italiana di Archeometria: Pisa, 1-3 febbraio 2006*, a cura di C. D'Amico, Bologna, Pàtron, 2006, pp. 671-678; S. Carlsen, *Effects of freeze-drying on paper*, in *Preprints from the 9th International Congress of IADA, Copenhagen, 15-21 August 1999*, København, Royal Danish Academy of Fine Arts, School of Conservation, 1999, pp. 115-120; D. Fissore - P. Mussini - L. Sassi -

Le operazioni di sanificazione dei depositi d'archivio sono poi quasi sempre caratterizzate da una certa meccanicità, dovuta al fatto che si lavora su quantità importanti, spesso chilometri lineari di scaffalature, per cui l'attenzione al singolo pezzo è subordinata all'esigenza di trattare l'insieme del materiale nel modo più efficace possibile in un tempo ragionevolmente contenuto. La direzione del lavoro, affidata a personale qualificato, garantisce la regolare esecuzione dell'intervento che, a livello pratico, è organizzato secondo una sequenza programmata di attività: prelievo ordinato dei mazzi dagli scaffali e collocazione temporanea in contesti protetti; aspirazione delle polveri dai palchetti e pulizia con soluzioni idroalcoliche; soffiatura delle parti esterne dei mazzi con aria compressa, spolveratura e pulizia con panni antistatici con soluzione idroalcolica (60% etanolo, 40% acqua); ricollocazione del materiale sui palchetti al termine delle operazioni di sanificazione; eventuale sostituzione delle cartelle gravemente compromesse con nuovi contenitori realizzati con materiali idonei alla lunga conservazione e certificati per il condizionamento di documenti d'archivio. In presenza di volumi maggiormente danneggiati, la tendenza resta sempre quella di ampliare lo spettro dei prodotti chimici da impiegare, ricorrendo, ad esempio, a soluzioni idroalcoliche con l'aggiunta di sali di ammonio quaternario (60% etanolo, 39,5 % acqua, 0,5% benzalconio cloruro)[25].

In tale contesto, la proposta avanzata con perfetto tempismo dal Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino, da anni impegnato a testare l'efficacia antimicrobica degli oli essenziali, è parsa non solo innovativa rispetto ai metodi tradizionali sopradescritti ma anche provvidenziale. I risultati incoraggianti degli studi condotti in laboratorio dal gruppo di ricercatori hanno ispirato la fase successiva della sperimentazione all'interno di ambienti confinati, quali archivi e biblioteche. L'Archivio di Stato di Torino, scelto come partner di questo ambizioso progetto di ricerca, ha messo a disposizione la sala bunker n. 48 di Sezione Corte per le prove di dispersione di un olio essenziale secondo modalità e tempistiche illustrate nella seconda parte del contributo. L'efficacia degli interventi è stata verificata mediante test di campionamento passivo, come da indicazioni della norma UNI 11527:2014, e di campionamento attivo, come da indicazioni della norma ISO 16000-18:2011, in tre momenti: prima dell'intervento, subito dopo e a distanza di tempo. I dati raccolti consentono di trarre una serie di conclusioni e di spunti per investigazioni future, esposti nella parte finale di questo articolo.

A. A. Barresi, *La liofilizzazione: una tecnica efficace per il recupero di materiale archivistico a seguito di allagamento*, in «Archivi», XII/2 (2017), pp. 28-46,<https://doi.org/10.4469/A12-2.02>; H. Pittino, *La liofilizzazione come metodo per il salvataggio di beni cartacei*, in *«Archeomatica»*, 6/4 (2015), pp. 32-34, <https://doi.org/10.48258/arc.v6i4.1286>; F. Troiano - N. Barbabietola - P. Colaizzi - M. Montanari - F. Pinzari, *La liofilizzazione quale intervento di recupero di volumi alluvionati ed attaccati da microfunghi*, in *Prima, durante… invece del restauro: atti del Congresso (Parma, 16-17 novembre 2012)*, a cura di C. Lodi - C. Sburlino, Saonara, Il prato, 2012, pp. 1-7.

25. Secondo quanto previsto dal Capitolato Speciale d'Appalto, le ditte appaltatrici devono essere in possesso di una serie di certificazioni (UNI EN 16636:2015, EN ISO 9001:2015, EN ISO 14001:2015, EN ISO 45001:2018) e includere nel loro organico figure professionali certificate, quali Restauratori di beni culturali (operatore livello B), Tecnici del restauro (operatore livello C) e Tecnici del restauro con competenza settoriale (operatore livello C).

2. *Metodologie sperimentali*

2.1. *Tipologia di olio essenziale e modalità di dispersione*

In questo studio, è stato utilizzato l'olio essenziale di timo rosso (*Thymus vulgaris* OE0970), acquistato dall'azienda Erboristeria Magentina-Witt Italia Spa. Dalla letteratura scientifica[26] e da studi condotti in precedenza presso il Politecnico di Torino tale olio risulta possedere un'elevata efficacia nell'inibizione della crescita dei funghi filamentosi, come ad esempio *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger* e *Penicillium frequentans*, comuni contaminanti negli archivi.

L'olio essenziale è stato vaporizzato a freddo tramite i diffusori *Bulle* (Fig. 1), dell'azienda Pranarôm, usati nell'unico studio apparso nella letteratura scientifica relativo all'impiego di oli essenziali per il trattamento di ambienti chiusi[27]. In entrambe le prove effettuate sono stati impiegati tre diffusori, azionati contemporaneamente in corrispondenza dell'inizio delle attività.

Nel corso della prima prova, i diffusori sono stati disposti sul pavimento del corridoio principale in modo equidistante tra di loro e in prossimità della luce di passaggio tra due scaffali adiacenti. Nella seconda prova, invece, il diffusore posto al centro del corridoio è stato spostato nello spazio libero tra le coppie di scaffali 25/26 e 27/28, a circa metà della lunghezza degli scaffali, come mostrato in Fig. 2.

Nella prima prova si è disperso un volume di olio essenziale pari a 3,6 mL, mentre nella seconda il volume è stato di 5,1 mL. La prima prova ha avuto una durata complessiva di 48 ore, comprendente quattro ore di diffusione e le restanti di esposizione, mentre nella seconda prova, a parità di ore di diffusione dell'olio essenziale, la durata complessiva è stata di 72 ore. In entrambi i casi, per tutta la durata della prova, gli armadi compattabili sono stati lasciati aperti, in modo da favorire la diffusione dei vapori di olio essenziale all'interno degli scaffali, il sistema di aerazione dell'ambiente è stato spento, le porte di accesso sono state chiuse ed è stato inibito l'accesso all'ambiente da parte degli operatori.

26. Si veda a riguardo: V. Tullio - A. Nostro - N. Mandras - P. Dugo - G. Banche - M.A. Cannatelli - A.M. Cuffini - V. Alonzo - N.A. Carlone, *Antifungal activity of essential oils against filamentous fungi determined by broth microdilution and vapour contact methods*, in «*Journal of Applied Microbiology*», 102/6 (2007), pp. 1544-1550, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03191.x>; M. Šegvić-Klarić - I. Kosalec - J. Mastelić - E. Piecková - S. Pepeljnak, *Antifungal activity of thyme (Thymus vulgaris L.) essential oil and thymol against moulds from damp dwellings*, in «*Letters in Applied Microbiology*», 44/1 (2007), pp. 36-42, <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2006.02032.x>; M. Zabka - R. Pavela - E. Prokinova, *Antifungal activity and chemical composition of twenty essential oils against significant indoor and outdoor toxigenic and aeroallergenic fungi*, in «*Chemosphere*», 112 (2014), pp. 443-448, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.014>.

27. J. Díaz Alonso - A. Bernardos - J. L. Regidor Ros - R. Martínez-Máñez - P. Bosch-Roig, *Innovative use of essential oil cold diffusion system for improving air quality on indoor cultural heritage spaces*, in «*International Biodeterioration & Biodegradation*», 162 (2021), 105251, ISSN 0964-8305, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105251>.

2.2. *Metodologie di campionamento*

Per i campionamenti passivi, sono state impiegate piastre di *Petri*, recipienti poco profondi e di forma cilindrica, normalmente utilizzati come contenitori di terreni di coltura solidi e semisolidi su cui vengono fatti crescere microrganismi per renderli visibili ad occhio nudo. Nel caso in esame si sono impiegate piastre di diametro 90 mm (Fig. 3), contenenti, in accordo con le linee guida INAIL 2010[28], 40 mL dei seguenti terreni di coltura: TSA[29] per il campionamento dei batteri e AM[30] per il campionamento dei funghi. In ogni posizione scelta all'interno della camera di prova sono state collocate piastre di terreno TSA e/o di AM, come illustrato in Fig. 4, posizionate e aperte all'interno della stanza nello stesso momento.

Al termine del periodo di esposizione (2 ore), le piastre sono state richiuse e trasportate presso il Laboratorio Biotecnologico del Politecnico di Torino, dove sono state incubate in termostato a 25°C. Periodicamente, viene effettuata la conta delle Unità Formanti Colonie (UFC) dei microrganismi unicellulari (batteri e lieviti) e pluricellulari (funghi filamentosi).

Le prove di campionamento attivo sono state condotte mediante campionatore SAS SUPER ISO 100 (Figg. 5-6) nelle posizioni illustrate in Fig. 7.

Anche in questo caso, sono stati utilizzati i terreni di coltura TSA e AM. Il flusso di aria aspirato è stato di 100 L/min, per un tempo che ha consentito di campionare 300 L di aria (volume che, in una fase preliminare dello studio, si è rivelato idoneo a valutare in modo adeguato la concentrazione di microrganismi nell'atmosfera). Anche in questo caso, al termine dei campionamenti, le piastre sono state richiuse e trasportate presso il Laboratorio Biotecnologico del Politecnico di Torino e incubate in termostato a 25°C. Periodicamente è stata effettuata la conta delle colonie e sono stati registrati i valori di UFC.

2.3. *Risultati dello studio*

Nel seguito, sono presentati i risultati ottenuti nel corso del primo intervento condotto all'interno della sala 48 (per la quale risultati preliminari sono stati presentati nella Tesi di Laurea discussa presso il Politecnico di Torino da Giulia Castagna[31]), nella quale è stato disperso un volume di olio essenziale pari a 3,6 mL per una durata della prova pari a 48 ore[32] Per la valutazione dell'efficacia del trattamento, come illustrato in precedenza, si sono effettuati sia campionamenti passivi sia campionamenti attivi.

28. INAIL, *Il monitoraggio microbiologico negli ambienti di lavoro Campionamento e analisi. Linee guida contarp, Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione*, 2010, Milano, pp. 10-41.

29. La composizione del terreno di coltura TSA (*Tryptone Soy Agar*) è la seguente: Digerito pancreatico di caseina 15 g/L, Digerito enzimatico di semi di soia 5 g/L, Cloruro di sodio 5 g/L, Agar 15 g/L.

30. La composizione del terreno di coltura AM (*Agar Malto*) è la seguente: Glucosio 20 g/L, Estratto di malto 20 g/L, Peptone batteriologico neutralizzato 2 g/L, Agar 20 g/L.

31. G. Castagna, *Studio dell'efficacia antimicrobica degli oli essenziali*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, 2023, <https://webthesis.biblio.polito.it/28134> (consultato il 6 agosto 2025).

32. Per durata della prova si intende l'intervallo di tempo nel quale l'ambiente di test è stato isolato dall'esterno, comprendendo quindi sia il tempo di dispersione dell'olio sia quello nel quale il materiale è stato a contatto con un'atmosfera caratterizzata dalla concentrazione massima di olio essenziale.

La Fig. 8 mostra i risultati, espressi in termini di UFC, pre-trattamento e *post*-trattamento con olio essenziale di timo rosso nella sala 48 in differenti posizioni, con differenti terreni di coltura e per differenti tipologie di microrganismi, dopo 144 ore di incubazione in termostato a 25°C.

Da questa prima prova di trattamento è possibile concludere che l'olio di timo rosso presenta un effetto antimicrobico in quanto, dopo la dispersione dei vapori e per tutte le posizioni campionate, si riscontra una diminuzione del numero di UFC. Un'eccezione è rappresentata dai microrganismi unicellulari campionati su TSA in corrispondenza della bocchetta di aspirazione, poiché non si apprezzano variazioni significative rispetto al pre-trattamento. Ciò non costituisce un aspetto di attenzione visto che l'effetto biodeteriogeno è associato principalmente ai microrganismi pluricellulari e l'applicazione dell'olio essenziale è rivolta proprio al controllo di questi. Un esempio di foto, relative al tempo di incubazione di 144 h delle piastre di *Petri* del campionamento passivo pre-trattamento e *post*-trattamento, è mostrato in Fig. 9. Le foto, che si riferiscono a un singolo punto di campionamento per ogni posizione, mostrano che i livelli di contaminazione microbica *post*-trattamento sono significativamente inferiori in tutte le postazioni campionate, evidenziando così l'efficacia del trattamento con olio essenziale di timo.

All'interno della sala 48, sono stati realizzati tre campionamenti attivi: uno pre-trattamento, uno *post*-trattamento (al termine delle 48 ore di trattamento) e uno dopo una settimana dal termine della prova. Anche in questo caso, la conta delle colonie è stata effettuata dopo 144 ore di incubazione a 25°C. Considerando, ad esempio, il campionamento effettuato con terreno TSA nella griglia alta dello scaffale, è stata osservata una diminuzione del numero di UFC dei microrganismi pluricellulari da 32 a 8, mentre quello dei microrganismi unicellulari rimane pressoché costante, variando da 93 ad 89. Risultati simili sono stati ottenuti negli altri punti di campionamento, confermando così l'efficacia dell'intervento proposto, in particolare nei confronti dei microrganismi fungini biodeteriogeni.

Ad una settimana di distanza dal termine della prova, è stato ripetuto un campionamento attivo all'interno della sala 48. Durante questa prova, il sistema di aerazione all'interno del locale è stato mantenuto acceso. Al fine di valutare l'influenza della temperatura sulla crescita microbica, le piastre sono state incubate a due differenti temperature, secondo il seguente schema:

- 25°C: luce di passaggio tra due scaffali (terreno AM), griglia alta (terreno TSA), corridoio centrale (terreno TSA);
- 20°C: luce di passaggio tra due scaffali (terreno TSA), griglia alta (terreno AM), corridoio centrale (terreno AM).

In Fig. 10, vengono riportate le foto delle piastre incubate per 144 h alle due differenti temperature e nelle tre differenti posizioni della sala 48.

Dai risultati ottenuti è possibile osservare che la crescita dei microrganismi pluricellulari è favorita alla temperatura di 20°C. Questo mette in evidenza come il solo controllo della temperatura possa non essere sufficiente per il controllo dello sviluppo dei funghi biodeteriogeni. Focalizzando l'attenzione sui microrganismi pluricel-

lulari, a parità di terreno di coltura, posizione e temperatura di incubazione (25°C), dopo una settimana dal trattamento con olio essenziale di timo, il numero di UFC risulta pari a 3 (dal valore di 8 ottenuto al termine dell'esposizione), confermando così l'efficacia del trattamento sui microrganismi pluricellulari biodeteriogeni.

Con l'obiettivo di ottimizzare la metodologia di trattamento, si è quindi proceduto ad una seconda prova, allungando la durata di esposizione ai vapori dell'olio (da 48 a 72 ore) e aumentando la quantità di olio disperso (da 3,6 a 5,1 mL). È stato effettuato un campionamento attivo pre-trattamento, al termine del trattamento e dopo una settimana. I risultati sono illustrati in Fig. 11.

È possibile osservare come il numero di colonie, anche in questo caso, risulti significativamente diminuito, in misura ancor superiore rispetto a quanto osservato al termine della prima prova. Inoltre, è confermata la maggior efficacia dell'olio essenziale di timo nei confronti dei microrganismi fungini, potenziali biodeteriogeni.

Conclusioni

Lo studio effettuato ha consentito di evidenziare che i vapori di olio di timo rosso (*Thymus vulgaris* OE0970) sono efficaci nel controllo della contaminazione microbica in un ambiente chiuso. In particolare, già 3,6 mL di olio consentono di ottenere risultati significativi in un ambiente avente un volume libero di circa 70 m^3. È stato inoltre possibile accertare che l'abbattimento della carica microbica risulta particolarmente rilevante nel caso dei microrganismi pluricellulari (funghi filamentosi), che sono i maggiori responsabili del biodeterioramento dei documenti cartacei, e che non è comunque trascurabile l'effetto sui microrganismi unicellulari, batteri e lieviti. L'abbattimento della carica microbica (funghi filamentosi) del 75% (considerando il terreno di coltura TSA) rispetto al valore inziale, al termine del trattamento di 48 ore, e del 90% dopo una settimana di trattamento, prova che l'olio essenziale risulta efficace non solamente al termine del trattamento ma anche successivamente. Ovviamente, la durata del trattamento, così come il quantitativo di olio disperso, condizionano i risultati ottenuti: prolungando il trattamento da 48 a 72 ore, tempo nel quale la sala risulta avere il sistema di aerazione chiuso ed è interdetta agli operatori, e aumentando il volume di olio da 3,6 mL a 5,1 mL, si ottiene un abbattimento della carica microbica dell'ordine del 69%, che può arrivare sino al 95% dopo una settimana dall'intervento.

Lo studio in questione, tra i primi a presentare risultati ottenuti in scala reale, è da intendersi come punto di partenza per un'investigazione più ampia che potrà comprendere, da un lato, la tipologia di olio essenziale impiegata, dall'altro, la modalità di dispersione dell'olio nell'ambiente di prova. Nel corso della sperimentazione è stato impiegato l'olio di timo rosso ma si potrà successivamente valutare l'utilizzo di questo o di altri oli in miscela per ampliarne lo spettro di applicazione. Risulta inoltre di particolare importanza la distribuzione dei diffusori di oli essenziali nella camera: l'obiettivo è avere una dispersione il più possibile uniforme per evitare che

in alcune zone la concentrazione dei vapori dell'olio possa essere al di sotto dei valori di efficacia.

Occorre anche considerare che, al termine del trattamento, il sistema di aerazione viene riattivato e gli operatori hanno nuovamente accesso al locale; pertanto, possono riproporsi situazioni favorevoli a una contaminazione. Questo aspetto, in aggiunta al fatto che il trattamento non ha come obiettivo la "sterilizzazione" dell'ambiente, ne rende necessaria la ripetizione nel tempo. Nel caso in analisi, si è riscontrato che tre mesi dopo il primo trattamento il livello di contaminazione dell'ambiente di test è ritornato a un valore prossimo a quello di partenza. Dal momento che a valle del secondo test si è ottenuto un livello di contaminazione minore, si può pensare che per tornare al livello di contaminazione iniziale sia necessario un tempo superiore. Visto il costo molto basso del trattamento e il fatto che non sia necessario disporre di operatori specializzati, l'utilizzo dei vapori di olio essenziale si può pensare utile in due differenti scenari, ossia come trattamento periodico di mantenimento/prevenzione di contaminazioni e come intervento di emergenza in caso di contaminazione manifesta, nell'attesa di programmare operazioni più radicali.

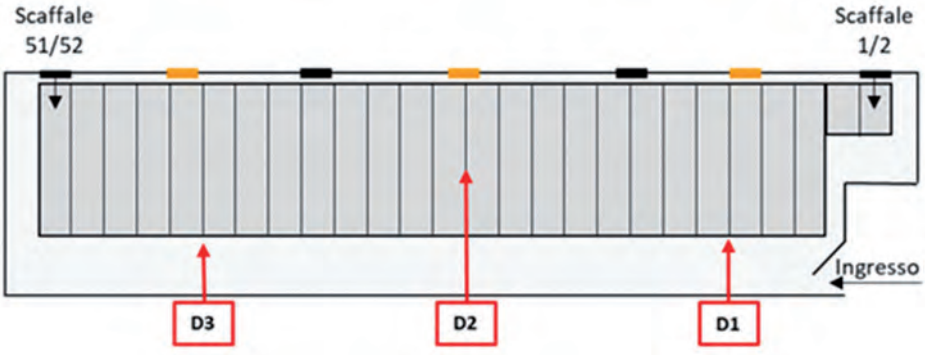

Fig. 1. Diffusore Bulle PRANAROM.

Fig. 2. Posizioni scelte per il collocamento dei diffusori (D1, D2 e D3) nella stanza 48 (seconda prova).

Fig. 3. Campionamento passivo tra gli scaffali della stanza 48.

Fig. 4. Indicazione dei punti in cui sono stati effettuati i campionamenti passivi nella stanza 48 prima dell'utilizzo dell'olio essenziale (in alto) e subito dopo l'utilizzo dell'olio essenziale (in basso).

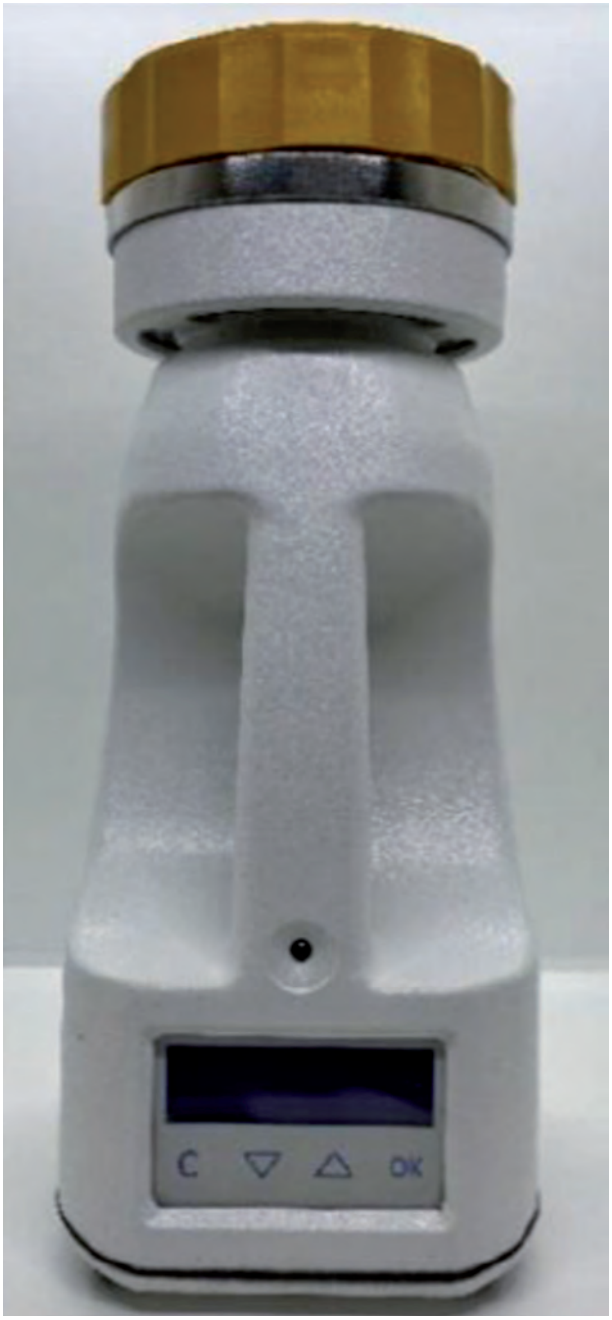

Fig. 5. Campionatore SAS SUPER ISO 100.

Figura 6. Campionamento attivo con campionatore SAS SUPER ISO 100, tra gli scaffali della sala 48.

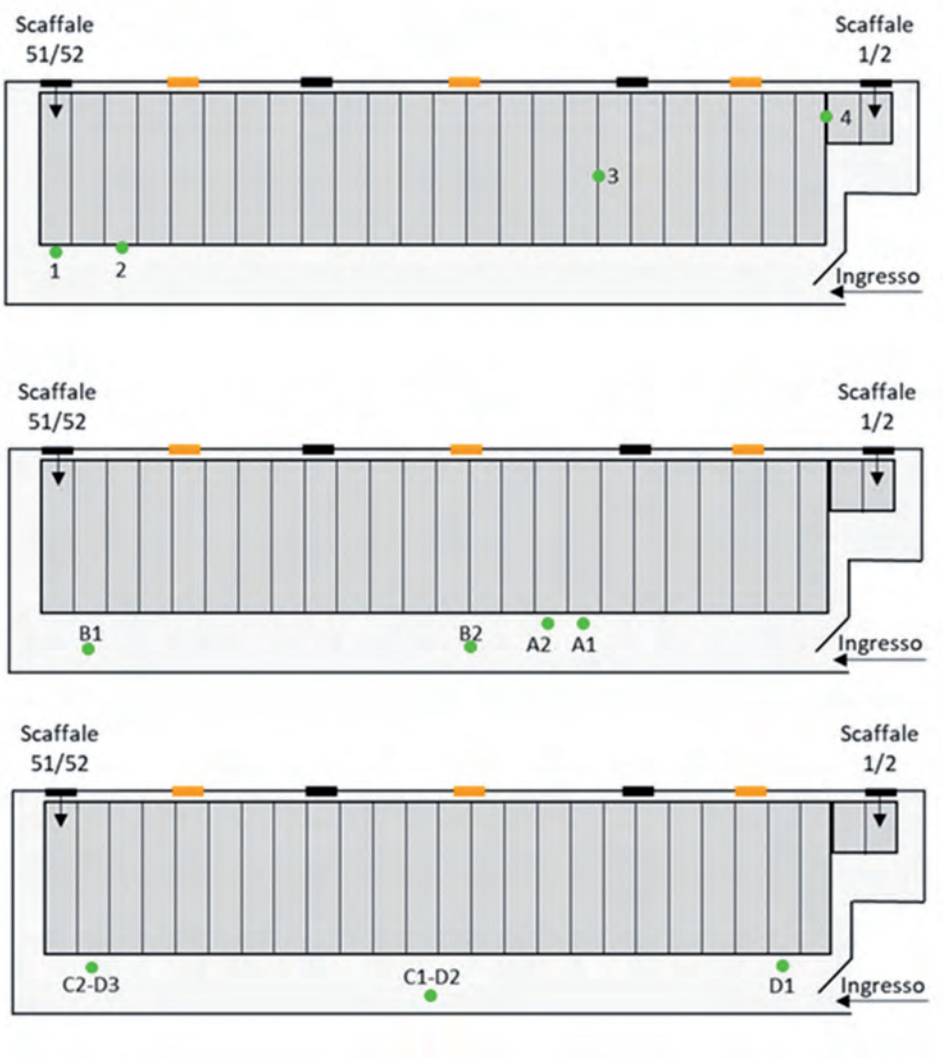

Fig. 7. Indicazione dei punti in cui sono stati effettuati i campionamenti attivi nella stanza 48 prima dell'utilizzo dell'olio essenziale (in alto) e subito dopo l'utilizzo dell'olio essenziale nella prima prova, dopo una settimana (in mezzo) e nella seconda prova (in basso).

		Interno scaffale		Bocchetta di aspirazione		Corridoio centrale	
		TSA	AM	TSA	AM	TSA	AM
UFC pluricellulari	Pre-trattamento	3	3	7	12	9	9
	Post-trattamento	1	0	1	0	0	2
UFC unicellulari	Pre-trattamento	12	4	4	6	12	9
	Post-trattamento	6	3	4	0	4	2

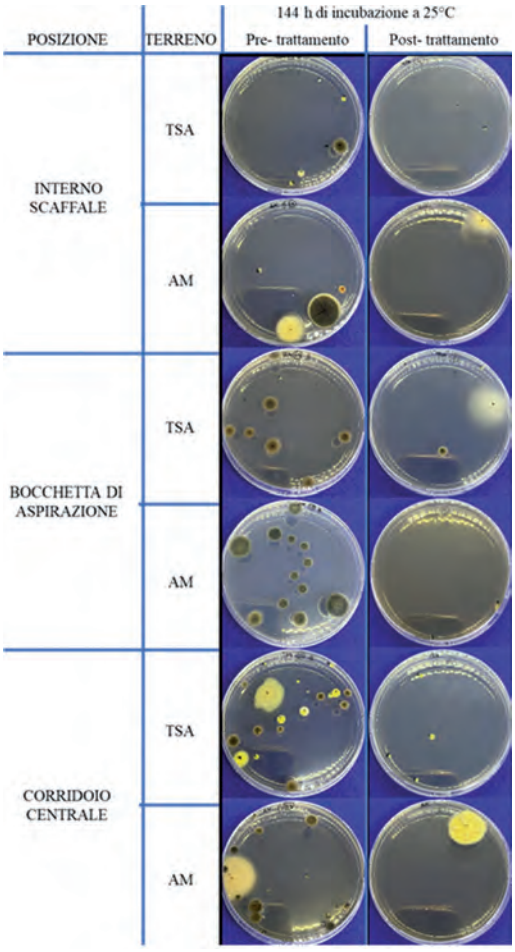

Fig. 8. Confronto a 144 h di incubazione, tra le UFC pluricellulari e unicellulari (campionamento passivo breve) pre-trattamento e post-trattamento con olio essenziale di timo rosso nella sala 48.

Fig. 9. Campionamento passivo pre- e post-trattamento con olio essenziale di timo rosso nella stanza 48.

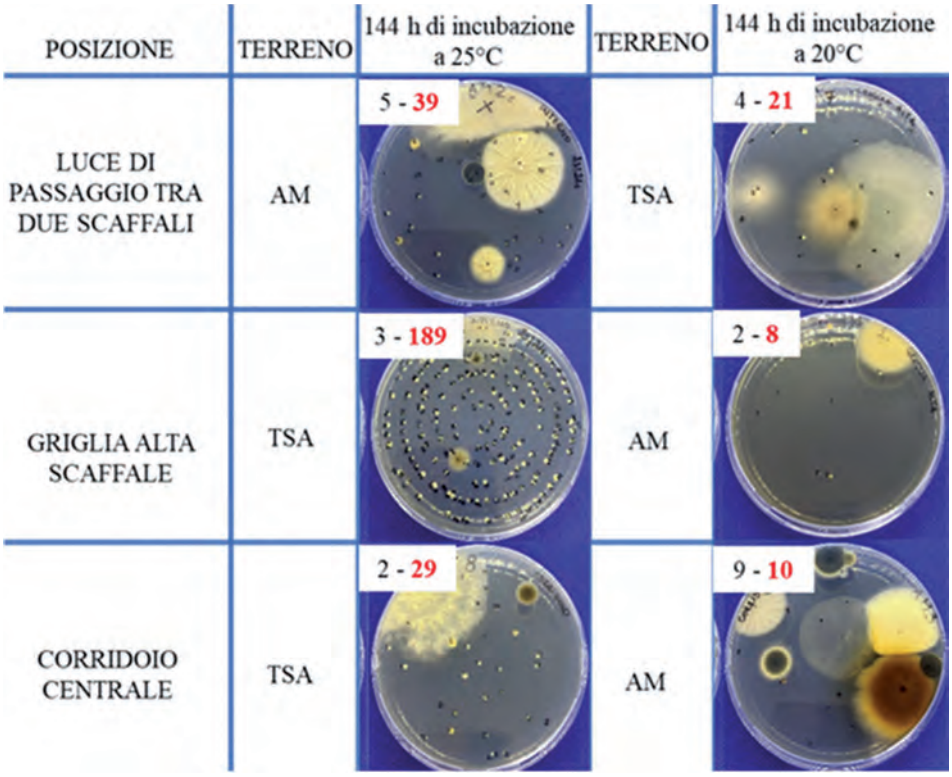

Fig. 10. Campionamento attivo dopo una settimana dal trattamento con olio essenziale di timo rosso nella sala 48. Confronto tra l'incubazione a 25°C e 20°C dopo 144 h. In nero è riportato il numero di UFC pluricellulari, in rosso il numero di UFC unicellulari.

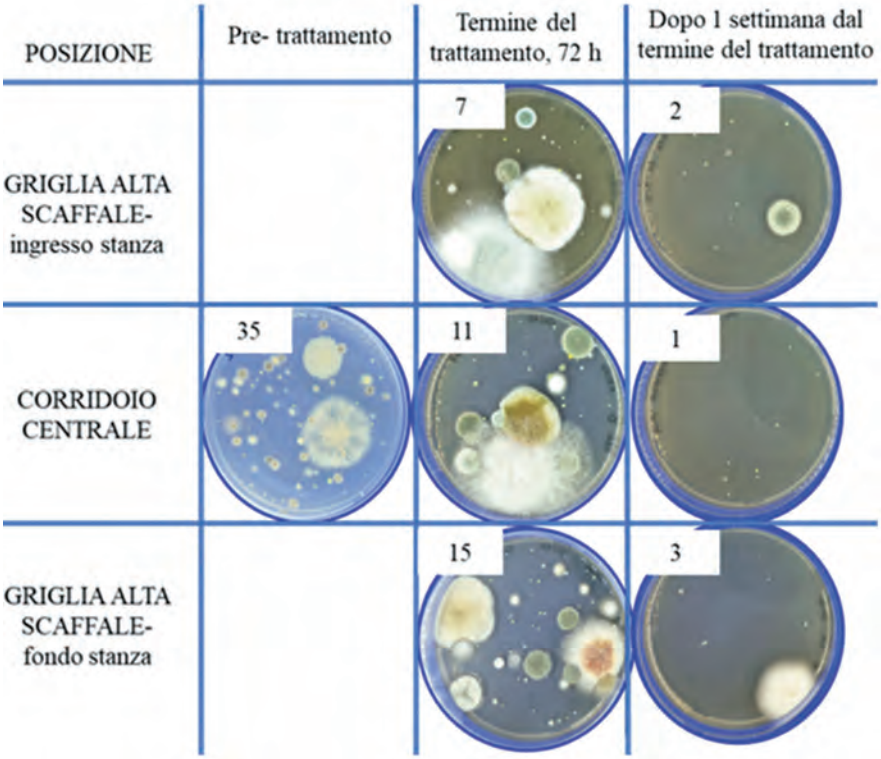

Fig. 11. Campionamenti attivi, effettuati nella stanza 48, pre-trattamento con olio essenziale e post-trattamento (al termine del trattamento, durato 72 ore, e dopo 1 settimana). Le immagini si riferiscono alle colonie sviluppatesi dopo 144 h di incubazione a 25°C.