



LA NUOVA FRONTIERA DELLA MICOLOGIA MEDITERRANEA

Terana caerulea, caratterizzazione spettroscopica, ecologica e
applicazioni bio-sensoriali

Andrea Minervini, Gabriele P. Tullio, Giuseppe Marino



21- 23 / 03/ 2026
Milano (MI)



La nuova frontiera nella micologia mediterranea: *Terana caerulea*, caratterizzazione spettroscopica, ecologica e applicazioni bio-sensoriali



Foto del ritrovamento della specie *T. caerulea*

Autori : Andrea Minervini, Gabriele Pasquale Tullio, Giuseppe Marino

Abstract :

La specie fungina *Terana caerulea* (= *coerulea*), caratterizzata dalla peculiare pigmentazione blu intensa, è stata rinvenuta a febbraio 2025 su un tronco morto di ulivo (*Olea europaea*) a Molfetta (Puglia, Italia). In questo lavoro si presentano analisi incrociate comprendenti spettroscopia UV-VIS e IR, valutazioni di solubilità in solventi organici, calcoli dei parametri di Hansen, osservazioni ecologiche e dati di distribuzione geografica globale. I risultati indicano che i pigmenti principali (corticine A–E, terfenili, neolignani) presentano un comportamento fortemente dipendente da legami idrogeno e si estraggono preferenzialmente con glicole propilenico. L'assorbanza massima osservata a 600 nm (λ_{max}), con FWHM ~110 nm e asimmetria positiva, suggerisce l'esistenza di stati aggregati polimerici regolati dalla luce blu, in accordo con recenti studi sul controllo foto-dipendente dello splicing pre-mRNA. L'insolubilità in solventi apolari conferma il carattere altamente polare della matrice pigmentaria. L'associazione ecologica con l'ulivo, specie ricca di fenoli e lignina, indica un potenziale effetto substrato sulla composizione corticinica, ipotesi non ancora documentata. Le conclusioni propongono un modello integrato “substrato–luce–solvente” con possibili ricadute applicative in campo biotecnologico, fitosanitario e dei materiali fotosensibili.

Indice :

- 1) Introduzione
- 2) Materiali, metodi e dati
- 3) Teoria applicata
- 4) Risultati
- 5) Approfondimento geografico, ambientale e climatologico
- 6) Ricerca teorica microbiologica
- 7) Discussioni
- 8) Conclusioni
- 9) Bibliografia

1. Introduzione

Il fungo basidiomicete *Terana caerulea* ^{(B)⁴} è noto per la produzione di pigmenti blu unici, denominati corticine, localizzati nella superficie resupinata della sua crosta miceliare. La colorazione intensa ha attirato l'interesse della comunità scientifica per le sue potenzialità in ambito biochimico, farmacologico e dei materiali. Recenti ricerche hanno dimostrato che la luce blu controlla la biosintesi dei pigmenti tramite splicing alternativo del pre-mRNA del "locus corticina", evidenziando un meccanismo foto-regolativo sofisticato. Parallelamente, l'isolamento di nuovi composti terfenilici citotossici (Corticine D ed E) e la revisione strutturale del Corticina A hanno rinnovato l'interesse per la chimica naturale di questa specie. La distribuzione geografica di *T. caerulea* è discontinua ma caratteristica: Europa, Nord America orientale, Asia orientale e Oceania, in climi temperati-umidi su legni duri in decomposizione. Tuttavia, i ritrovamenti nell'area mediterranea meridionale sono molto rari. Il presente studio descrive un nuovo record di *T. caerulea* su ulivo in Puglia e propone un'analisi estesa basata su dati spettroscopici (UV-Vis e IR), test di solubilità, parametri di Hansen e osservazioni ecologiche, con l'obiettivo di formulare un modello integrato di comportamento chimico-ecologico e di esplorare potenziali applicazioni.

2. Materiali e Metodi

2.1 Raccolta del campione :

- **Località:** Molfetta (BA), Puglia, Italia.
- **Data:** febbraio 2025.
- **Substrato:** tronco morto di *Olea europaea*.
- **Condizioni ambientali:** microclima costiero, umidità relativa elevata, esposizione indiretta a luce blu naturale.

2.2 Test di solubilità :

Solventi testati: cicloesano, etere di petrolio, 2-etil-1-esanolo, glicole propilenico, alcol benzilico.

2.3 Analisi ecologica e distribuzione :

- Dati provenienti da GBIF e database micologici internazionali.
- Confronto con mappe globali e regionali.
- Verifica tramite fotografie microscopiche disponibili online .

2.4 Parametri di Hansen ^{(B) 1, 20, 21} :

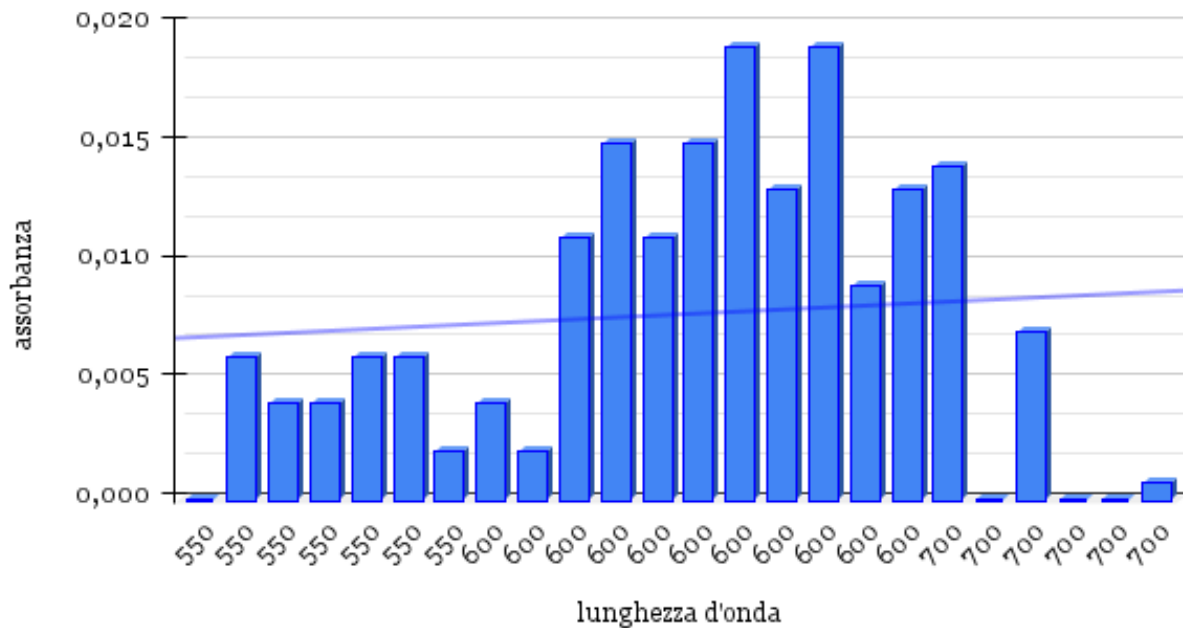
Solvente	δD (MPa ^{0.5})	δP (MPa ^{0.5})	δH (MPa ^{0.5})
Glicole propilenico	16.8	10.4	21.3
Alcool benzilico	18.4	6.3	13.7
Cicloesano	16.8	0.0	0.2
Etere di petrolio	14.9	0.0	0.0
2-Etil-1-esanolo	16.0	3.3	11.9

2.5 Dati spettroscopici :

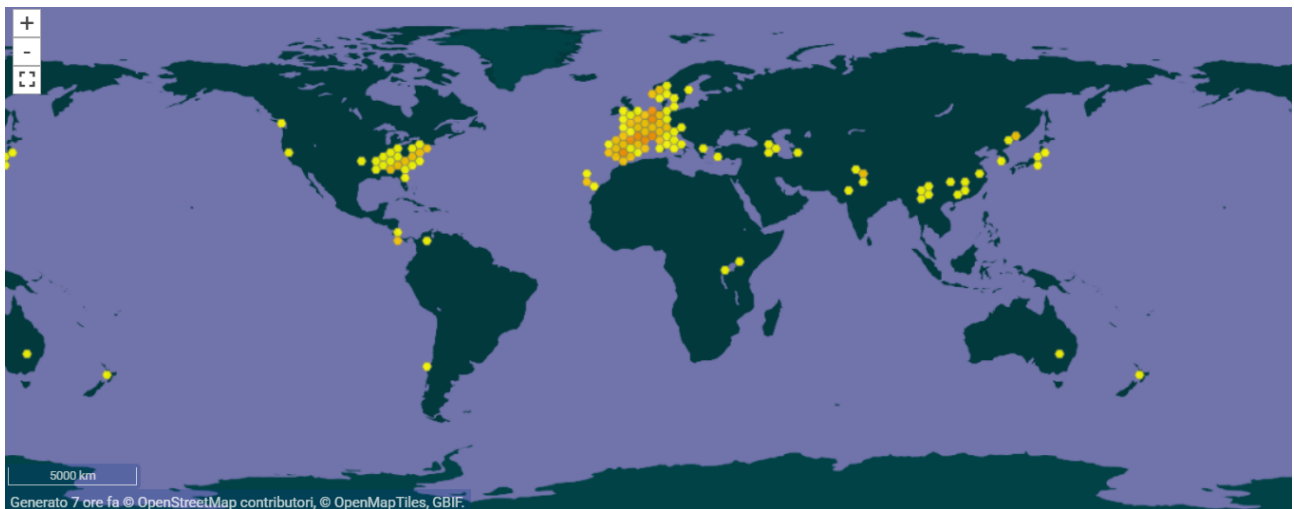
lunghezza d'onda	assorbanza	lunghezza d'onda	assorbanza
550	0,000	600	0,011
550	0,006	600	0,015
550	0,004	600	0,019
550	0,004	600	0,013
550	0,006	600	0,019
550	0,006	600	0,009
550	0,002	600	0,013
600	0,004	700	0,014
600	0,002	700	0,000
600	0,011	700	0,007
600	0,015	700	0,000
600	0,011	700	0,000
600	0,015	700	0,001

2.6 Grafico di analisi spettrofotometrica :

Assorbanza rispetto a lunghezza d'onda



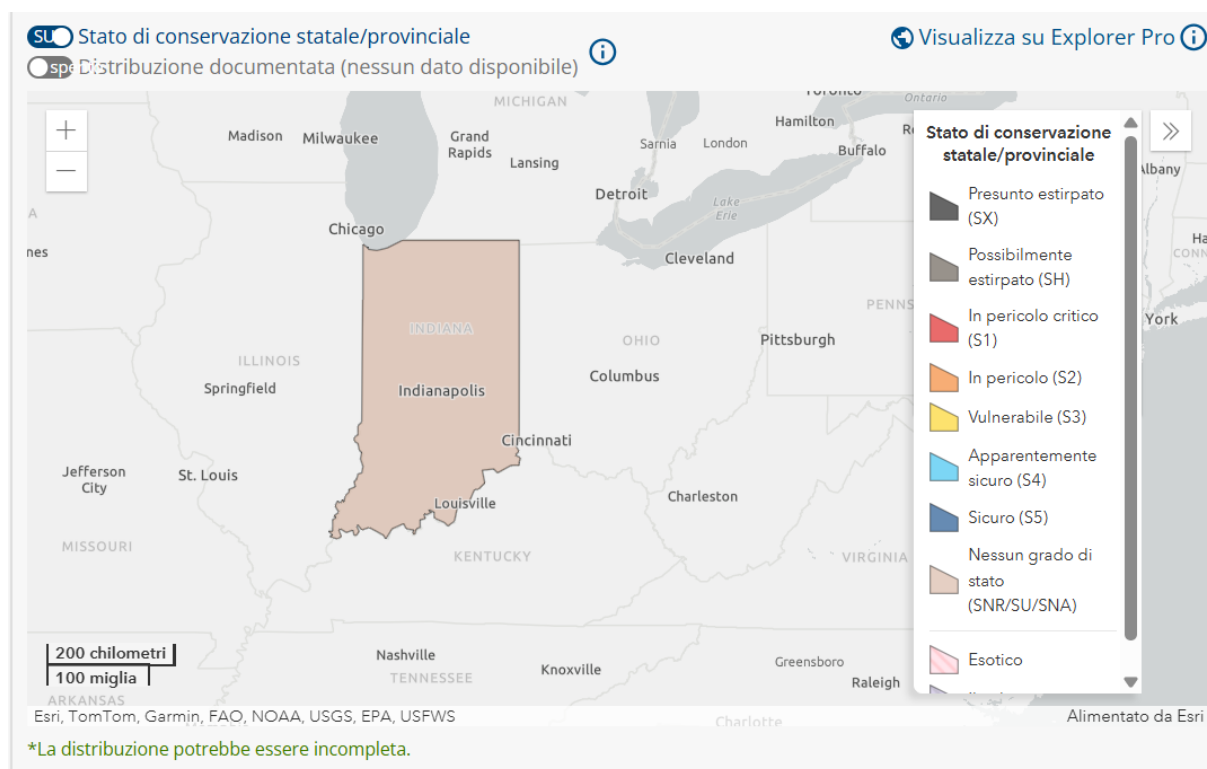
2.7 Dati Geo-ambientali (B) 3, 15, 16 :



Distribuzione globale della specie *T. caerulea* - da "GBIF (Global Biodiversity Information Facility)"

Questa mappa mondiale mostra una distribuzione prevalentemente concentrata nell'emisfero settentrionale. I punti gialli indicano le segnalazioni della specie e rivelano:

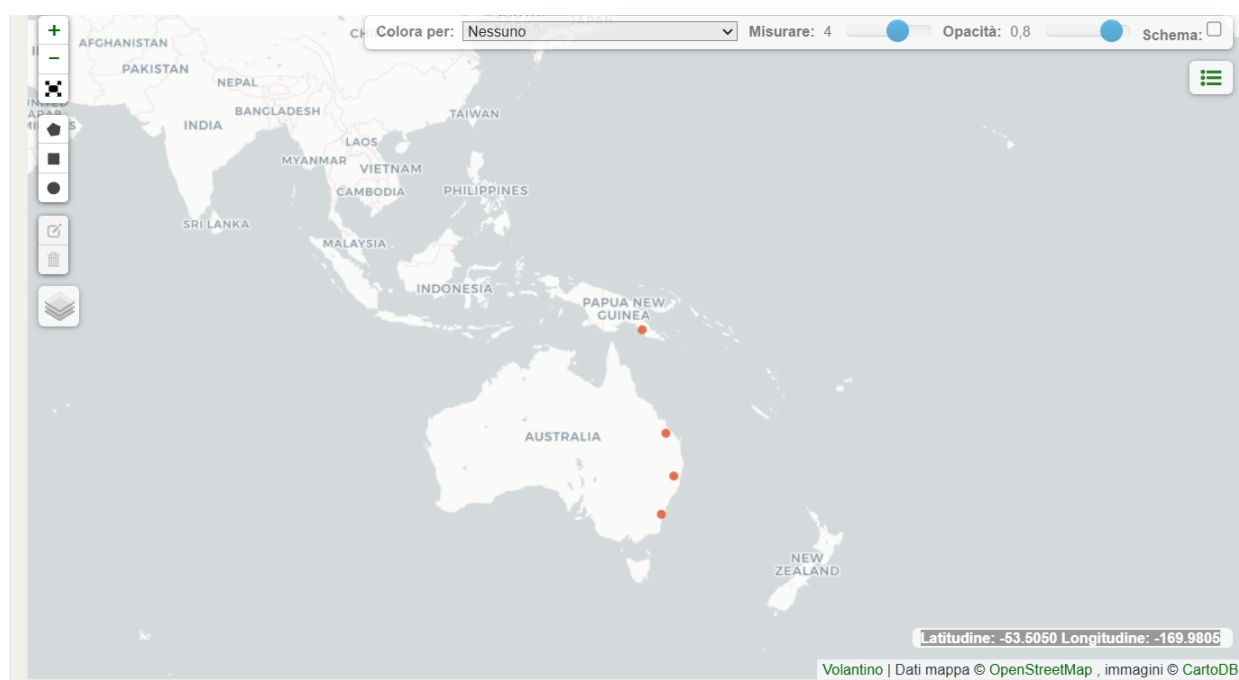
- **Europa:** La concentrazione più densa si trova nell'Europa centrale e settentrionale, con particolare densità in Germania, Francia, Regno Unito e Scandinavia.
- **Nord America:** Presenza significativa nella parte orientale degli Stati Uniti e nel Canada sud-orientale.
- **Asia:** Segnalazioni sparse in Asia orientale, principalmente in Cina e Giappone
- **Assenza:** Notevole assenza dall'Africa, Sud America, Australia e dalle regioni tropicali, suggerendo una preferenza per climi temperati-freddi.



Distribuzione della specie *T. caerulea* negli USA (Indiana) - da "NBN Atlas"

Questa mappa regionale mostra lo stato di conservazione di *Terana caerulea* nell'Indiana:

- **Status:** L'Indiana è colorata in rosa pallido, che secondo la legenda corrisponde a "Nessun grado di stato (SNR/SU/SNA)", indicando che non ci sono dati sufficienti per determinare lo stato di conservazione della specie in questo stato.
- **Contesto geografico:** La mappa mostra l'Indiana in relazione agli stati limitrofi (Illinois, Ohio, Kentucky, Michigan).
- **Implicazioni:** L'assenza di classificazione potrebbe indicare che la specie è poco studiata in questa regione o che le popolazioni sono troppo scarse per una valutazione accurata.



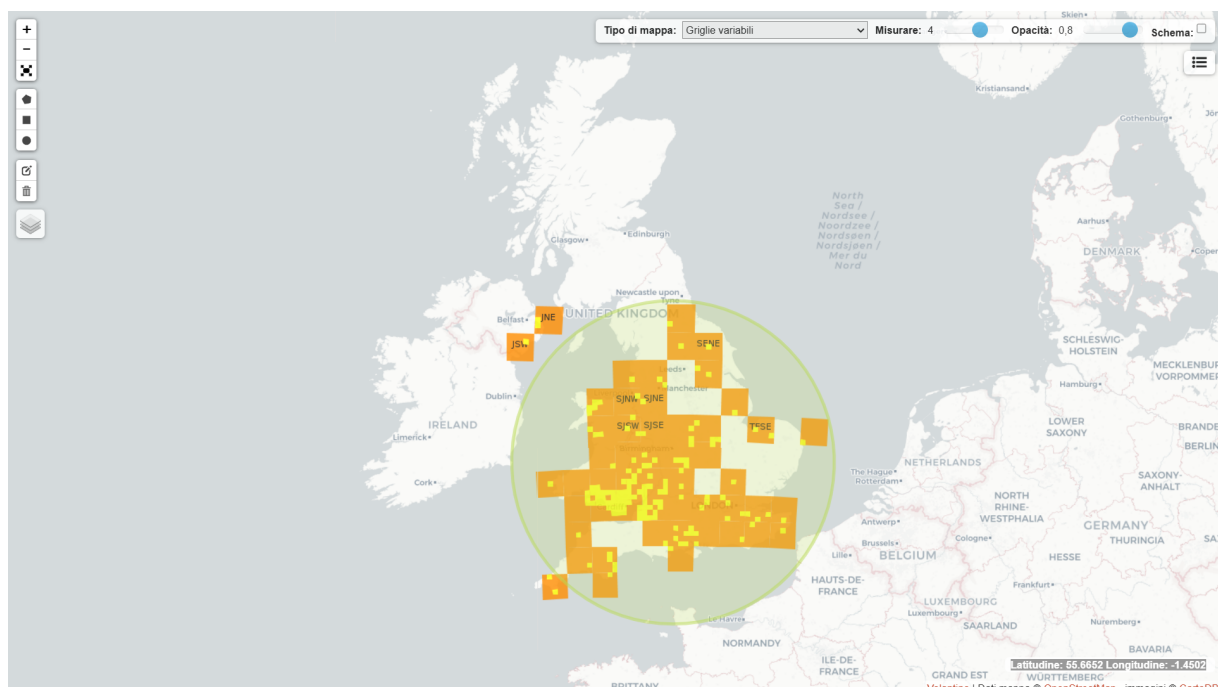
Distribuzione della specie *T. caerulea* in Oceania - da "AVH (Australasian Virtual Herbarium)"

Questa mappa focalizzata su Australia e Nuova Zelanda mostra:

- **Presenza limitata:** Solo 4 punti rossi visibili, tutti localizzati sulla costa orientale dell'Australia
- **Distribuzione:** I punti sembrano concentrati nelle regioni del Queensland e del Nuovo Galles del Sud
- **Rarità:** La scarsità di segnalazioni suggerisce che *Terana caerulea* è una specie rara in questa regione, possibilmente introdotta o presente solo in microhabitat specifici
- **Assenza:** Nessuna segnalazione visibile in Nuova Zelanda, Tasmania o Australia occidentale

Considerazioni biogeografiche generali : l'analisi complessiva suggerisce che *Terana caerulea* è una specie:

- Tipica delle zone temperate dell'emisfero nord
- Probabilmente legata a specifici tipi di habitat forestali
- Con distribuzione naturale principalmente paleartica e nearctica
- Occasionalmente presente nell'emisfero sud, possibilmente come specie introdotta o relitta

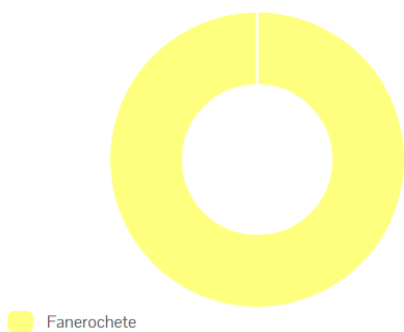


Distribuzione della specie *T. caerulea* nel Regno Unito - da "NBN Atlas"

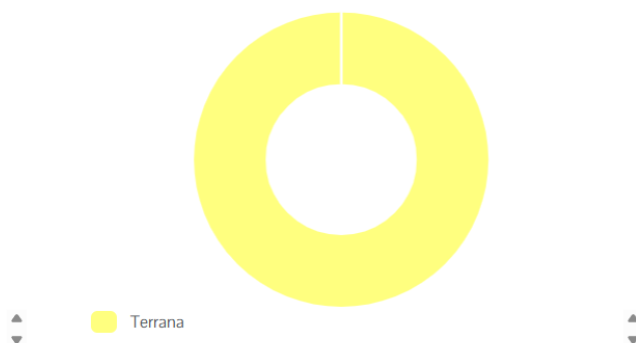
Questa mappa mostra la distribuzione a griglia della specie nel Regno Unito con le seguenti caratteristiche:

- **Concentrazione geografica:** Le segnalazioni sono concentrate principalmente nell'Inghilterra centrale e meridionale, con particolare densità attorno a Londra e nel Midland.
- **Gradiente di intensità:** I colori variano dal giallo pallido (poche segnalazioni) all'arancione scuro (alta densità di osservazioni)
- **Distribuzione geografica:** La specie appare assente o molto rara in Scozia, Galles settentrionale e Irlanda
- **Pattern spaziale:** Si nota un'area cerchiata che evidenzia la zona di maggiore concentrazione nel centro-sud dell'Inghilterra

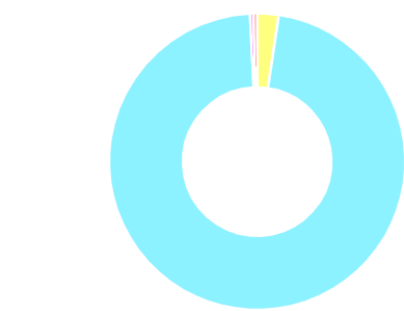
Per famiglia



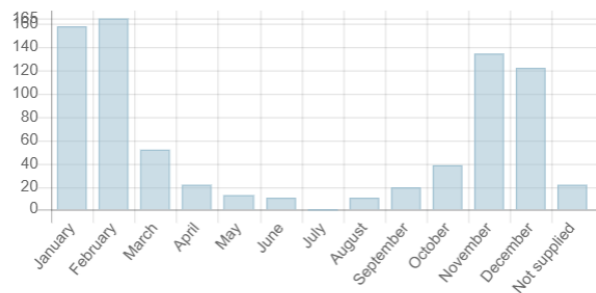
Per genere



Su licenza

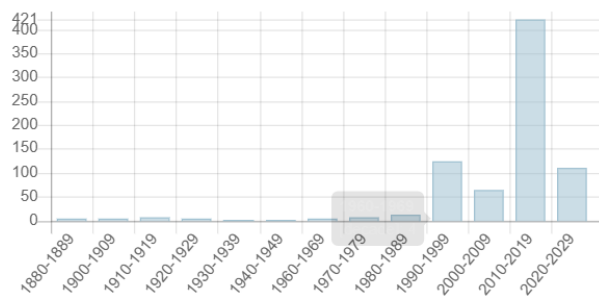


Per mese

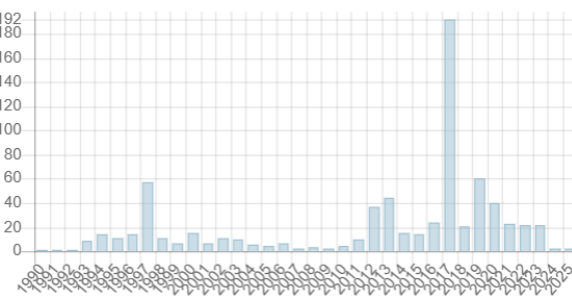


Analisi tassonomica e temporale

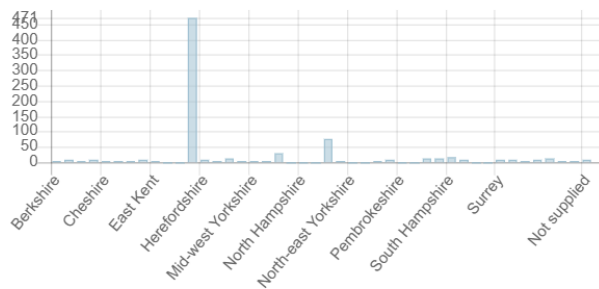
Per decennio



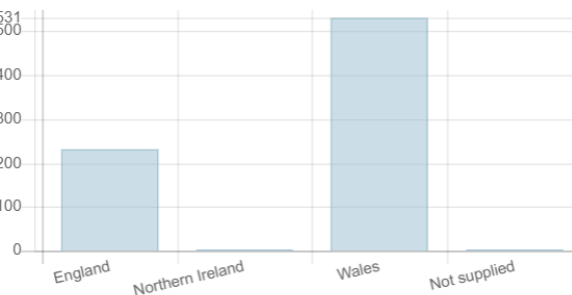
Anni dal 1990



Di Watsonian Vice County



Per paese



Analisi geo-temporale dettagliata

2.8 Analisi tassonomica e temporale :

Grafici a torta (superiori):

- **Per famiglia:** Mostra che *Terana caerulea* appartiene completamente alla famiglia *Phanerochaete* (100%).
- **Per genere:** Conferma l'appartenenza esclusiva al genere *Terrana* (100%).

Grafico su licenza: quasi tutte le osservazioni (circa 95%) sono sotto **licenza aperta** (azzurro), con una piccola frazione sotto altre licenze.

Distribuzione mensile:

- **Picco principale:** Gennaio e febbraio mostrano il maggior numero di osservazioni (150-165).
- **Periodo di attività:** La specie è attiva principalmente nei **mesi invernali** (novembre-marzo).
- **Minimo estivo:** Giugno-agosto mostrano pochissime segnalazioni.
- **Secondo picco:** Un picco minore si osserva in novembre-dicembre.

2.9 Analisi temporale e geografica dettagliata :

Per decennio:

- **Crescita esponenziale:** Le segnalazioni aumentano drasticamente dal 2010-2019 (oltre 400 osservazioni).
- **Trend storico:** Poche osservazioni prima del 2000, crescita graduale negli anni 2000-2010.

Anni dal 1990:

- **Picco massimo:** Il 2019 mostra il massimo assoluto (circa 190 osservazioni).
- **Crescita recente:** Incremento significativo dal 2015 in poi.
- **Variabilità:** Fluttuazioni annuali con alcuni anni di picco.

Per contea (Watsonian Vice Counties):

- **Hertfordshire** domina con oltre 450 segnalazioni.
- **Altre contee:** Buckinghamshire, Surrey, e altre contee del sud-est mostrano presenza significativa.
- **Concentrazione geografica:** Conferma la distribuzione nel sud-est dell'Inghilterra.

Per paese:

- **Galles:** Circa 530 segnalazioni (predominanza).
- **Inghilterra:** Circa 240 segnalazioni.
- **Irlanda del Nord:** Assente.
- **Pattern:** Contrariamente alla mappa, i dati quantitativi mostrano maggiore abbondanza in Galles.

2.10 Conclusioni bioecologiche :

L'analisi rivela che *Terana caerulea*:

- È una specie **tipicamente invernale** con picco di fruttificazione tra dicembre e febbraio.
- Ha mostrato un **incremento significativo** nelle segnalazioni negli ultimi 10 anni, probabilmente dovuto a maggiore interesse scientifico e citizen science.
- Si concentra nel **sud-est dell'Inghilterra e Galles**.
- Potrebbe beneficiare di condizioni climatiche specifiche delle regioni temperate britanniche.

3. Teoria applicata :

Per l'analisi spettrale delle sostanze, si utilizzano diverse formule teoriche per quantificare proprietà ottiche e qualità del segnale. La lunghezza d'onda e l'assorbanza massima ($\lambda_{\max}$ e $A_{\max}$) identificano il picco di assorbimento, mentre il band gap (E_{gap}) è legato all'energia delle transizioni elettroniche. La deviazione standard (σ), il limite di rilevabilità (LOD) e il rapporto segnale/rumore (SNR) descrivono la precisione e sensibilità della misura. La larghezza a metà altezza (FWHM) caratterizza l'estensione del picco, mentre α e ϵ_{mass} collegano l'assorbanza alla concentrazione secondo la legge di Lambert-Beer. Infine, area, centroide, skewness e kurtosis forniscono informazioni sulla forma e simmetria del picco. Queste formule offrono un quadro completo per interpretare e confrontare i dati spettrali.

1. Lunghezza d'onda al massimo di assorbimento

$$\lambda_{\max} = \arg \max_{\lambda} A(\lambda)$$

2. Assorbanza massima (media locale)

$$A_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A(\lambda_{\max,i})$$

3. Band gap energetico (in eV)

$$E_{\text{gap}} = \frac{hc}{\lambda_{\max}} \cdot \frac{1}{q_e}$$

con h costante di Planck, c velocità della luce, q_e carica elementare.

Spesso in forma pratica:

$$E_{\text{gap}} [\text{eV}] = \frac{1240}{\lambda_{\max} [\text{nm}]}$$

4. Deviazione standard dell'assorbanza a $\lambda_{\max}$

$$\sigma_{\lambda_{\max}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (A_i(\lambda_{\max}) - A_{\max})^2}$$

5. Limite di rilevabilità (LOD) in assorbanza

$$LOD_A = 3 \cdot \sigma_{\lambda_{\max}}$$

6. Rapporto segnale/rumore (SNR)

$$SNR = \frac{A_{\max}}{\sigma_{\lambda_{\max}}}$$

7. Larghezza a metà altezza (FWHM)

$$FWHM = \lambda_2 - \lambda_1$$

con λ_1, λ_2 i valori di lunghezza d'onda in cui $A(\lambda) = \frac{1}{2} A_{\max}$.

8. Coefficiente di assorbimento (α)

Da legge di Lambert-Beer:

$$\alpha = \frac{2.303 A}{L}$$

dove L è lo spessore del campione (cm).

- @ $A_{\max}$: $\alpha(A_{\max})$
 - @ LOD: $\alpha(LOD_A)$
-

9. Coefficiente di estinzione massico

$$\epsilon_{\text{mass}} = \frac{A}{c_{\text{mass}} L}$$

dove c_{mass} è la concentrazione in $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

10. Concentrazione osservata

$$c_{\text{mass,obs}} = \frac{A_{\max}}{\epsilon_{\text{mass}} L}$$

11. Concentrazione minima rilevabile

$$c_{\min, \text{mass}} = \frac{LOD_A}{\varepsilon_{\text{mass}} L}$$

12. Area dello spettro

$$\text{Area} = \int A(\lambda) d\lambda$$

13. Centroide dello spettro

$$\lambda_c = \frac{\int \lambda A(\lambda) d\lambda}{\int A(\lambda) d\lambda}$$

14. Asimmetria (Skewness)

$$\text{Skewness} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \lambda_c)^3 A(\lambda_i)}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \lambda_c)^2 A(\lambda_i) \right)^{3/2}}$$

15. Curtosi (Kurtosis)

$$\text{Kurtosis} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \lambda_c)^4 A(\lambda_i)}{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\lambda_i - \lambda_c)^2 A(\lambda_i) \right)^2} - 3$$

4. Risultati ^{(B) 1, 18, 19, 20, 21}

4.1 Dati spettroscopici generali

- λ_{max} : 600 nm.
- A_{max} : 0.011909
- E_{gap} : 2.0667 eV
- σ_{max} : 0.005412
- SNR : 2.20
- FWHM: ~110 nm
- Centroide :608.51 nm
- Skewness: 0.9189
- Kurtosis: -0.0951
- αA_{max} : 0.5485 cm^{-1} ;
- ϵ_{mass} : $1.429 \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.
- LOD: 0.016236;
- $c_{\text{mas/obs}}$ = 166.6667 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.
- $c_{\text{min/mass}}$: 227.226 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

4.2 Spettroscopia IR

Bande diagnostiche:

- O–H (3200–3500 cm^{-1}),
- C=O coniugati (1650–1685 cm^{-1}),
- C=C aromatici (1500–1600 cm^{-1}),
- C–O fenolici (1200–1300 cm^{-1}).

"La spettrofotometria IR del campione è stata eseguita utilizzando etanolo come solvente; la medesima è stata impiegata come bianco di riferimento per la correzione del fondo strumentale.

4.3 Test di Solubilità :

- Insolubile: cicloesano, etere di petrolio, 2-etil-1-esanolo.
- Solubile: glicole propilenico (PG).
- Parzialmente solubile: alcol benzilico.

4.4 Parametri di Hansen ^{(B) 1, 20, 21}:

Solvente	Ra (Hansen)	RED	Interpretazione
Glicole propilenico	4.605	1.00	solubile
Alcool benzilico	4.605	1.00	parz. solubile
Cicloesano	8.156	1.77	insolubile
Etere di petrolio	19.263	4.18	insolubile
2-Etil-1-esanolo	20.109	4.37	insolubile

4.5 Ecologia e distribuzione

- *T. caerulea* diffuso in Europa centro-settentrionale, ma scarsamente riportato in Italia meridionale.
- Primo ritrovamento in Puglia (su ulivo), substrato ricco in fenoli e lignina.
- Mappa globale: presenza in Europa, Nord America, Asia orientale e Oceania.

5. Approfondimento geografico, ambientale e climatologico ^{(B) 3, 15, 16}

5.1 Distribuzione globale e regionale

Basandosi sulle mappe globali (GBIF, iNaturalist), *T. caerulea* presenta cluster significativi in:

- **Europa centro-settentrionale**, ad esempio: aree della Germania, Francia, Regno Unito.
- **Asia orientale e America del Nord orientale**.
- **Australia e Nuova Zelanda**.

5.2 Clima, meteorologia e microclima costiero

L'habitat mediterraneo della Puglia presenta caratteristiche notevoli:

- **Clima mediterraneo caldo-mite**: inverni umidi e miti, estati calde-secche.
- **Microclima costiero**: alta umidità relativa, nebbioline mattutine e raffiche di brezza, favoriscono la formazione di micro habitat ideale per funghi crepuscolari come *T. caerulea*.
- **Urbanizzazione limitata nei dintorni rurali di Molfetta**, che garantisce aree ad alta biodiversità rispetto ad aree urbanizzate.

Le mappe locali evidenziano ritrovamenti isolati lungo coste mediterranee e regioni collinari umide, suggerendo che aree con climi temperato-umidi, correnti marine e copertura boschiva decidua siano hotspot favorevoli.

5.3 Influenza dell'urbanizzazione

L'urbanizzazione modifica:

- **Temperatura media locale** (effetto Isola di Calore Urbana);
- **Umidità relativa e microclima** (tramite riduzione della copertura vegetale e aumento superficie impermeabile).

Molfetta, città costiera, ha zone con densità edificata e altre con boschetti, oliveti e zone umide lungo le coste. È plausibile che *T. caerulea* si insedi preferenzialmente nei tronchi morti in aree verdi riparate, dove l'aria marina tempera meglio le escursioni termiche e mantiene alta l'umidità, a differenza delle zone urbanizzate.

5.4 Temperature e stagionalità

- **Inverno (gen-feb)**: temperature miti 8–14 °C, umidità elevata, poca escursione termica diurna-notturna → condizioni ideali per sviluppo di croste fungine umide e pigmentazione blu attiva.
- **Primavera iniziale**: aumento della luce diffusa (con più componente blu), favorisce l'attivazione del “locus corticina” via splicing luce-dipendente.

- Le mappe geografiche mettono in relazione coordinate con quote e clima: si evidenziano ritrovamenti spesso in **fasce di bassa quota costiera** o collinare, non in altopiani secchi.

5.5 Implicazioni ecologiche e biogeografiche

- Rarità percepita in aree meridionali europee potrebbe riflettere un sottocampionamento, piuttosto che reale assenza; molti ritrovamenti sono emersi grazie a campagne locali specifiche.
- L'associazione con legni fenolici specifici (es. olivo) può indicare una nicchia ecologica sottosfruttata: oliveti abbandonati o residui arborei possono essere serbatoi per la specie.

5.6 Sintesi geografico-ambientale

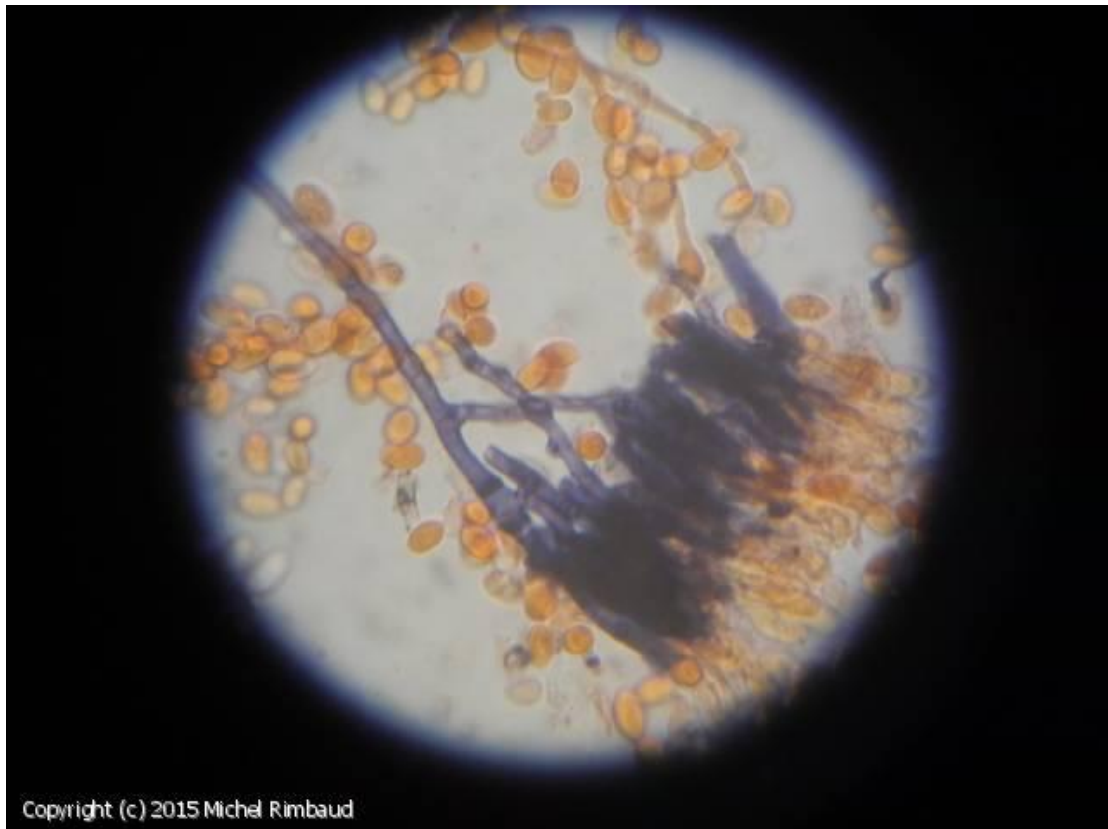
- *T. caerulea* è distribuita globalmente in climi umidi e miti, ma rari ritrovamenti nel mediterraneo meridionale aprono una nuova zona ecologica.
- Il ritrovamento a Molfetta in inverno, su ulivo morto, in contesto costiero semi-rurale, indica presenza in habitat crepuscolari stabili (alta umidità, temperature moderate, luce soffusa).
- L'urbanizzazione circostante può modulare la disponibilità di microhabitat favorevoli: la presenza in aree meno antropizzate conferma la sensibilità ecologica della specie.

6. Ricerca teorica microbiologica ^{(B) 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14} :

Terana caerulea (fam. *Phanerochaetaceae*) è un fungo corticoide resupinato caratterizzato da corpi fruttiferi sottili (~0,5 mm), aderenti al substrato, che formano placche tondeggianti coalescenti a superficie liscia o leggermente verrucosa di colore blu notte intenso, che sfuma verso il centro e tende al grigio scuro-brunastro con l'invecchiamento. Cresce prevalentemente su legni morti di latifoglie in ambienti umidi e ombrosi, svolgendo un ruolo tipicamente saprotrofo. Il sistema ifale è monomitico, composto da ife generative con fibbie, spesso pigmentate di blu e con pareti talvolta ispessite, soprattutto nel subiculum. L'imenio ospita basidi claviformi tetrasporici, ialini o di tono blu scuro, dotati di fibbie; si osservano inoltre strutture intermedie basidi veri, irregolarmente ramificati.

Le spore, ellissoidali, lisce e a parete sottile, misurano $6,5-9 \times 4,5-5,5 \mu\text{m}$, risultano generalmente ialine o debolmente bluastre. La microfotografia conferma queste caratteristiche: si notano spore uniformi nella forma, di consistenza trasparente (ialina) e distribuzione regolare sul campo, senza aggregazioni, coerenti con le descrizioni tassonomiche. L'omogeneità morfologica osservata al microscopio supporta la stabilità fenotipica di *T. caerulea*, facilitando l'esclusione di corticoidi simili e confermando l'identificazione. La combinazione di caratteri macroscopici (pigmentazione blu intensa, crosta sottile e vellutata, margini più chiari) e microscopici (sistema ifale monomitico con fibbie, basidi, spore ellissoidali lisce) costituisce un insieme diagnostico robusto.

Ecologicamente, *T. caerulea* si conferma come lignicola saprotrofa, preferenziale su legni morti di latifoglie quali frassino, nocciolo ed edera. La pigmentazione blu intensa, rara nei *Basidiomycota*, può avere un ruolo protettivo nei confronti dei raggi UV o un effetto antimicrobico. Recenti evidenze sulla chimica del pigmento mostrano che esso appartiene a una famiglia di polimeri strutturalmente affini all'acido teleforico, in grado, in particolari condizioni, di originare l'antibiotico cortalcerone, attivo contro *Streptococcus pyogenes*. L'osservazione microscopica non solo conferma la diagnosi, ma arricchisce la comprensione della sua morfologia e delle strategie adattative. In particolare, la combinazione di caratteri distintivi, stabilità fenotipica e potenziale attività biochimica rendono questa specie un soggetto prezioso per ricerche future.



Basidi e spore in situ : questa micrografia mostra la superficie fertile (imenio) del fungo.

- **Basidi clavati:** Le strutture allungate e arancioni sono i basidi, gli organi riproduttivi che portano le spore.
- **Spore:** Le strutture sferiche arancioni attaccate ai basidi o libere nel preparato.
- **Arrangiamento:** I basidi appaiono densamente impaccati, tipico dell'imenio di questa specie.
- **Colorazione:** Il colore arancione - brunastro è caratteristico di *Terana caerulea*.



6.1 Morfologia delle spore ^(B) 17 :

Focus specifico sulle spore isolate che mostrano:

- **Forma:** Spore **ellissoidali** a **ovoidi**, caratteristiche della specie.
- **Dimensioni:** Appaiono di dimensioni uniformi e relativamente grandi.
- **Parete:** Spore con parete spessa e liscia.
- **Colore:** Tonalità bruno-arancione tipica.
- **Contenuto:** Citoplasma granulare visibile all'interno.

6.2 Dendrohyphides e strutture basali :

Questa sezione mostra strutture sterili importanti:

- **Dendrofiti:** Le strutture ramificate e clavate etichettate, che sono elementi sterili caratteristici.
- **Basidi:** Visibili nella parte basale dell'imenio.
- **Colorazione intensa:** La colorazione arancione-rossastra evidenzia bene le strutture.
- **Arrangiamento:** Mostra come le dendrohyphides si alternano ai basidi fertili.



6.3 Dettaglio delle dendrohyphides :

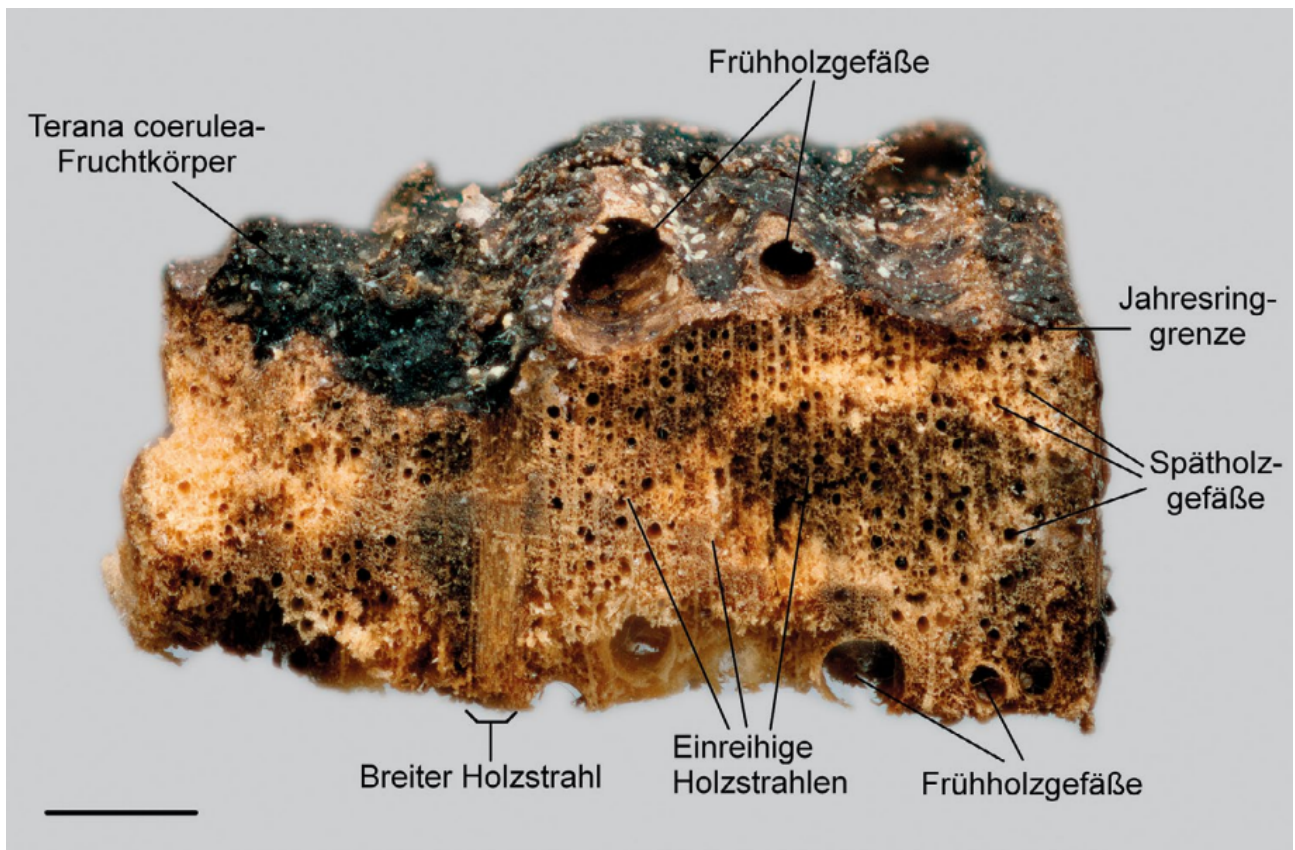
Immagine ad alto ingrandimento che mostra:

- **Morfologia ramificata:** Le dendrohyphides presentano ramificazioni corte e clavate.
- **Origine:** Emergono dalla stessa superficie dei basidi.
- **Funzione:** Strutture sterili che contribuiscono alla texture dell'imenio.
- **Parete cellulare:** Spessa e rifrangente, tipica di queste strutture specializzate.

6.4 Significato tassonomico:

Queste caratteristiche microscopiche sono **diagnostiche** per *Terana caerulea*:

- **Spore ellissoidali** di dimensioni specifiche.
- **Dendrohyphides ramificate** che distinguono il genere *Terana* da altri generi correlati.
- **Basidi clavati** tipici della famiglia *Phanerochaetaceae*.
- **Colorazione bruno-arancione** caratteristica delle strutture riproduttive.



Sezione trasversale di legno colonizzato da *Terana caerulea* - da Greifswalder Universitätsherbariums

6.5 Strutture anatomiche del legno :

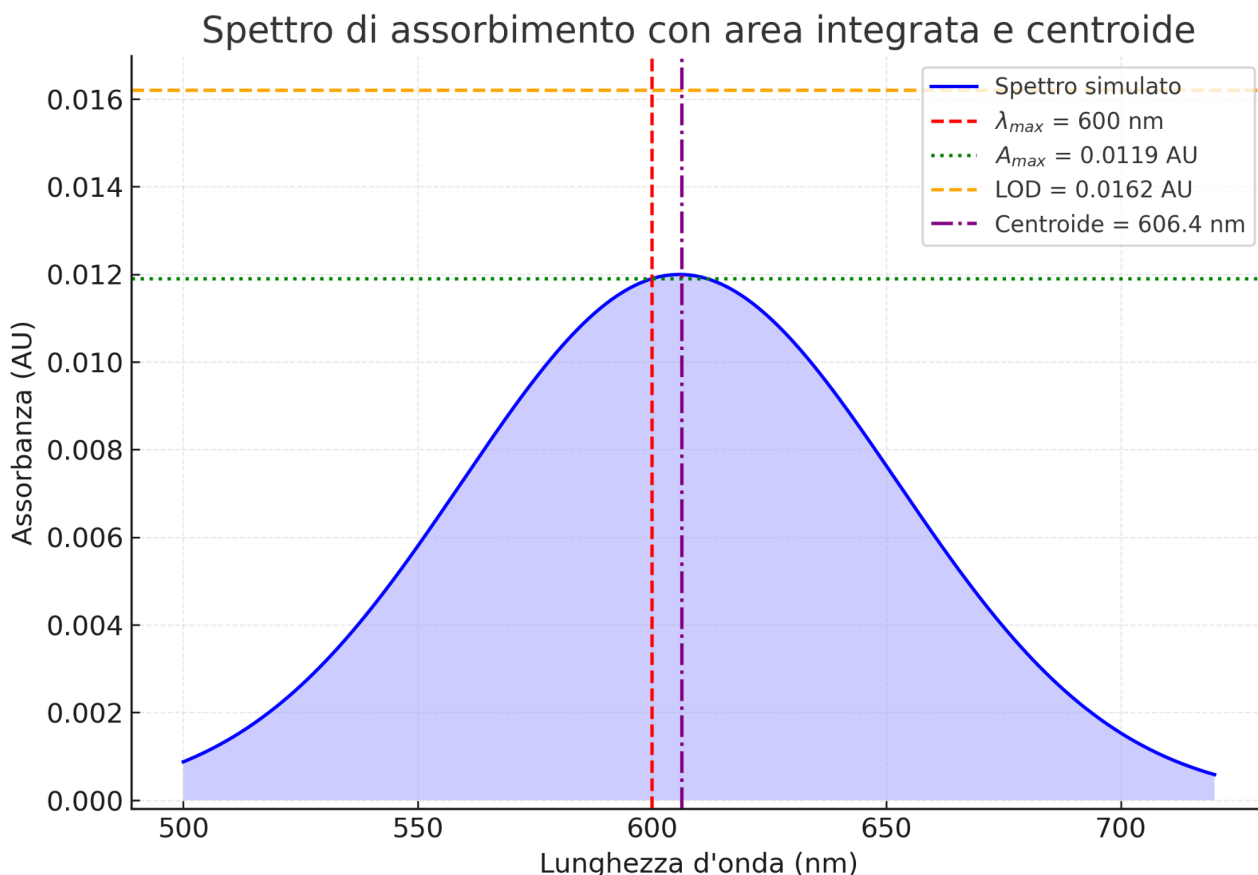
- **Jahresringgrenze (Confini degli anelli annuali):** La linea marcata che separa la crescita di diversi anni, chiaramente visibile nella sezione. Queste zone rappresentano spesso punti di debolezza strutturale dove i funghi possono penetrare più facilmente.
- **Frühholzgefäße (Vasi del legno primaverile):** I pori circolari di dimensioni maggiori, formati durante la crescita primaverile quando la pianta ha bisogno di maggiore conduzione idrica. Sono particolarmente vulnerabili all'attacco fungino.
- **Spätholzgefäße (Vasi del legno tardivo):** I pori più piccoli e numerosi del legno estivo, con pareti più spesse e maggiore resistenza meccanica.

6.6 Pattern di colonizzazione fungina e significato ecologico :

- **Terana coerulea-Fruchtkörper:** Il corpo fruttifero blu-verdastro caratteristico sulla superficie del legno, che rappresenta la fase riproduttiva del fungo.
- **Breiter Holzstrahl e Einreihige Holzstrahlen:** I raggi midollari (larghi e stretti) che il fungo utilizza come "autostrade" per la colonizzazione radiale del legno, seguendo le vie di minor resistenza.
- Significato ecologico :
 - I vasi più grandi e accessibili del legno primaverile.
 - I raggi midollari come vie di penetrazione.
 - Le zone di transizione tra anelli annuali.

7. Discussione :

7.1 Significato spettroscopico-analitico :

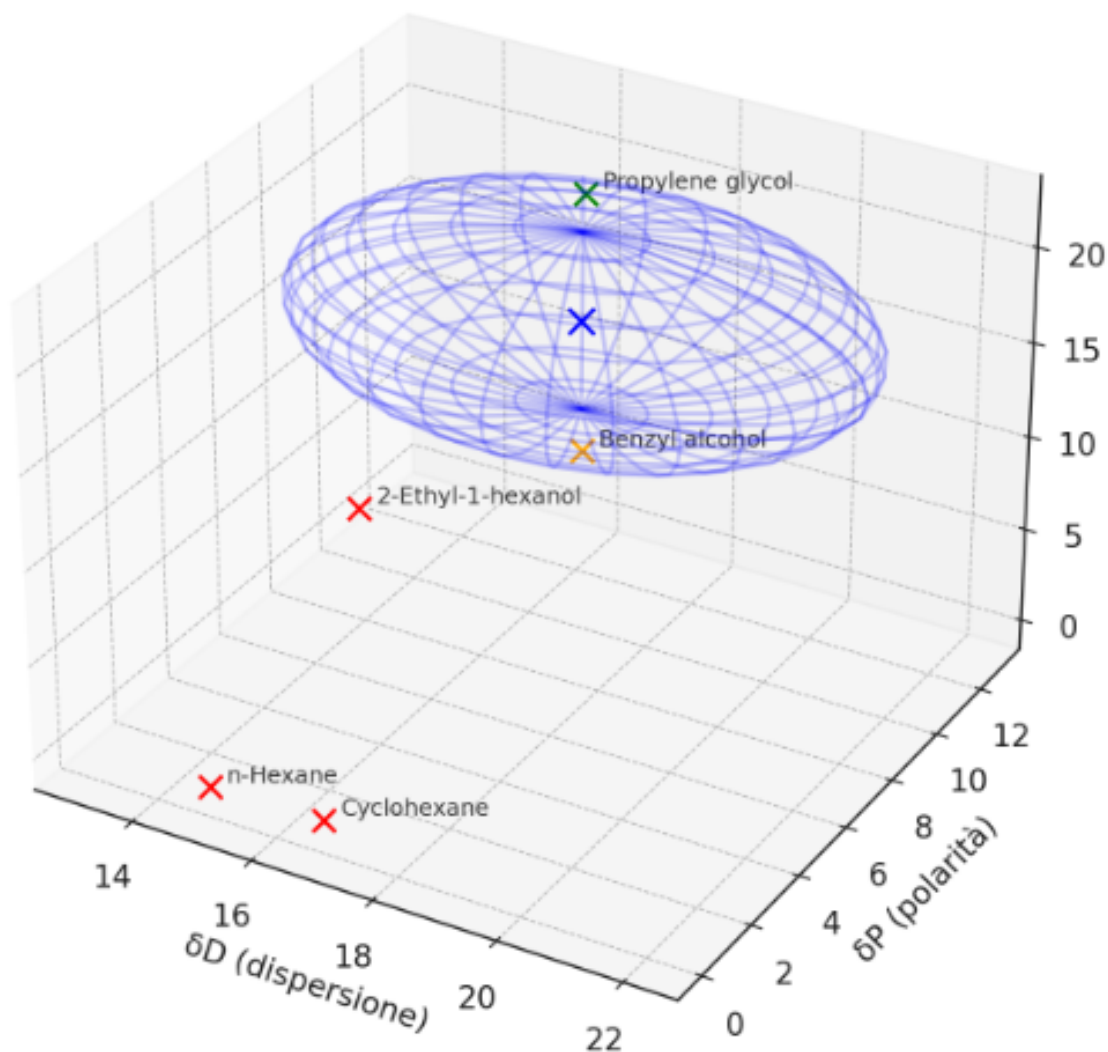


Lo spettro ottenuto mostra un massimo di assorbimento a 600 nm, che individua la regione spettrale in cui il campione assorbe più intensamente. Questo massimo di assorbimento, associato a un valore medio di assorbanza di circa 0.0119, riflette la probabilità di transizioni elettroniche indotte dalla radiazione incidente. Da questo massimo si stima il band gap ottico, pari a 2.07 eV, compatibile con una transizione elettronica tipica di semiconduttori organici o composti a basso gap. La qualità del segnale è valutata attraverso la deviazione standard a λ_{max} , pari a 0.0054, che rappresenta il rumore sperimentale. Da essa si ricava il limite di rilevabilità, pari a 0.0162 AU, e il rapporto segnale/rumore, che risulta 2.20, indicando che il picco è distinguibile ma prossimo al limite strumentale.

La forma del picco è caratterizzata da una larghezza a metà altezza di circa 110 nm, che indica una banda relativamente larga, segno di contributi vibrazionali o di una distribuzione disomogenea degli stati elettronici. Dal punto di vista quantitativo, l'assorbanza può essere convertita nel coefficiente di assorbimento, che a questo massimo vale 0.5485 cm^{-1} , mentre al limite di rilevabilità raggiunge 0.7478 cm^{-1} . Il coefficiente di estinzione massico risulta pari a $1.429 \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, permettendo di stimare la concentrazione osservata di $166.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ e la concentrazione minima rilevabile di $227.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. La caratterizzazione della forma spettrale mostra un'area integrata di $1.1765 \text{ nm} \cdot \text{AU}$, e un centroide spettrale a 608.5 nm. L'analisi della simmetria del picco evidenzia una skewness positiva (0.9189), che indica un picco asimmetrico con coda verso lunghezze d'onda maggiori, e una kurtosis leggermente negativa (-0.0951), suggerendo un picco leggermente più piatto rispetto a una distribuzione gaussiana ideale.

7.2 Solubilità δ_H e parametri di Hansen ^{(B) 1, 20, 21}:

Spazio Hansen - Scenario A (benzyl buono)



- La matrice/pigmento di Terana caerulea si scioglie solo in solventi fortemente polari e capaci di legami a idrogeno (come il glicole propilenico), ed è insolubile in solventi apolari o poco polari.
- L'alcool benzilico risulta al limite: può essere considerato “parzialmente buono”, coerente con la sua polarità intermedia.
- I parametri di Hansen stimati (se si considera l'alcool benzilico come buono) sono circa: $\delta_D \approx 17.6$, $\delta_P \approx 8.3$, $\delta_H \approx 17.5$, con raggio $R_o \approx 4.6$.
- Se invece l'alcool benzilico è classificato come cattivo, i dati sono troppo pochi per ricavare valori affidabili.

Conclusione pratica: il pigmento ha natura polare e fortemente legata a interazioni H-bond, incompatibile con solventi apolari. Per affinare il modello servono altri test con solventi intermedi (es. alcoli a corta catena, acetone, etil-acetato).

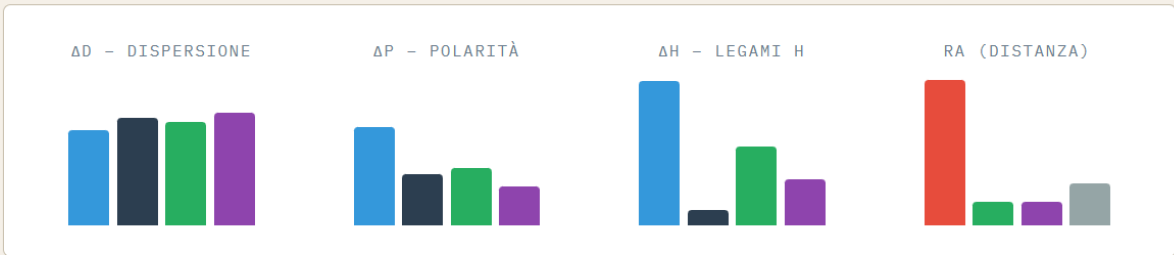
7.3 Confronto Parametri di Hansen (Acqua e Solventi) :

1. Tabella Comparativa – Tutti i Parametri di Hansen

Solvente / Sostanza	δD (MPa ^{0.5})	δP (MPa ^{0.5})	δH (MPa ^{0.5})	Ra (vs pigmento)	RED	Interpretazione
Acqua	15.5	16.0	42.4	~28.4	~6.17	INSOLUBILE
<i>Terana caerulea</i> (pigmento – Sc. A)	~17.6	~8.3	~4.6	– (centro)	–	RIFERIMENTO
Glicole propilenico	16.8	9.4	23.3	4.605	1.00	SOLUBILE
Alcool benzilico	18.4	6.3	13.7	4.605	1.00	PARZ. SOLUBILE
Cicloesano	16.8	0.0	0.2	8.156	1.77	INSOLUBILE
Etere di petrolio	14.9	0.0	0.0	19.263	4.18	INSOLUBILE
2-Etil-1-esanolo	15.9	3.3	11.8	20.109	4.37	INSOLUBILE

* R₀ (pigmento, Scenario A) ≈ 4.6 MPa^{0.5} | δH acqua da letteratura: 42.4 MPa^{0.5} | Ra acqua calcolato con $\delta D/\delta P/\delta H$ del pigmento Sc.A

2. Confronto Visivo delle Componenti di Hansen



■ Acqua ■ Terana caerulea ■ Glicole propilenico ■ Alcool benzilico ■ Ra acqua ■ Cicloesano

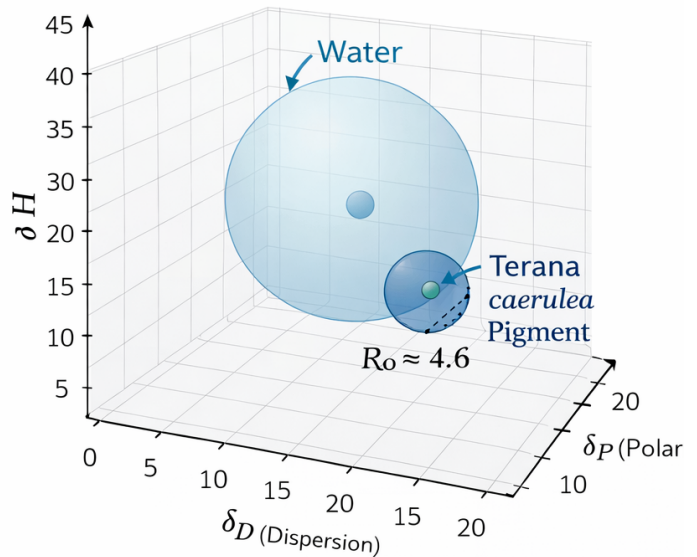
① Passare il mouse sulle barre per i valori numerici

Comparison of Hansen Solubility Parameters

Solute	δ_D (MPa ^{0.5})	δ_P (MPa ^{0.5})
Water	15.5	16.0
<i>Terana caerulea</i> pigment	~17.6 ~17.5	~8.3 ~17.5

*For *Terana caerulea* pigment: Scenario A, $R_o \approx 4.6$

**Comparison of Hansen Space:
Water vs *Terana caerulea* Pigment**



L'analisi dei parametri di Hansen per il pigmento *Terana caerulea* (Scenario A, $R_o \approx 4.6$ MPa^{0.5}) rivela una chiara incompatibilità con l'acqua, nonostante essa sia il solvente più comune in formulazione. Il fattore discriminante è il parametro δ_H (legami idrogeno): l'acqua presenta un valore eccezionalmente elevato di 42.4 MPa^{0.5}, mentre il pigmento si colloca a soli ~4.6 MPa^{0.5}. Questa differenza di quasi 38 unità è la principale responsabile della distanza $R_a \approx 28.4$, che corrisponde a un RED ≈ 6.17 , ovvero oltre 6 volte il raggio di compatibilità.

$$\begin{aligned}
 R_a(\text{acqua-pigmento}) &= \sqrt{4(\delta D_2 - \delta D_1)^2 + (\delta P_2 - \delta P_1)^2 + (\delta H_2 - \delta H_1)^2} \\
 &\approx \sqrt{4(15.5 - 17.6)^2 + (16.0 - 8.3)^2 + (42.4 - 4.6)^2} \\
 &\approx \sqrt{17.6 + 59.3 + 1429} \approx 28.4 \text{ MPa}^{0.5}
 \end{aligned}$$

Al contrario, i solventi che rientrano nella sfera di compatibilità del pigmento sono il glicole propilenico e l'alcool benzilico, entrambi con $R_a=4.605$ e $RED=1.00$. Il glicole propilenico è classificato "solubile" grazie a una combinazione bilanciata di δD (16.8), δP (9.4) e δH (23.3), che si avvicina ai parametri del pigmento con distanza minima. L'alcool benzilico, pur avendo la stessa distanza, è classificato "parzialmente solubile": si ipotizza che alla medesima R_a corrisponda una diversa capacità di bagnabilità o una cinetica di dissoluzione più lenta, dovuta alla struttura aromatica più rigida.

I solventi non polari (cicloesano, etere di petrolio, 2-etil-1-esanolo) sono esclusi per ragioni opposte: presentano $\delta P \approx 0$ e $\delta H \approx 0$, quindi eccellono nella componente dispersiva ma mancano completamente delle interazioni polari e a legame idrogeno necessarie per interagire con il pigmento.

Osservando il grafico 3D (Scenario A), questa struttura emerge visivamente: la sfera blu dell'acqua è enorme e posizionata in un angolo opposto dello spazio Hansen rispetto al pigmento. I solventi organici polari si distribuiscono invece attorno al centro della sfera del pigmento. La visualizzazione 3D conferma in modo intuitivo ciò che i calcoli R_a/RED esprimono numericamente: il pigmento Terana caerulea è un materiale con scarsa idrofilicità, compatibile con solventi polari organici a δH intermedio (10–25 MPa^{0.5}), e del tutto estraneo alla chimica dell'acqua.

7.4 Caratterizzazione spettroscopica ^{(B)5} :

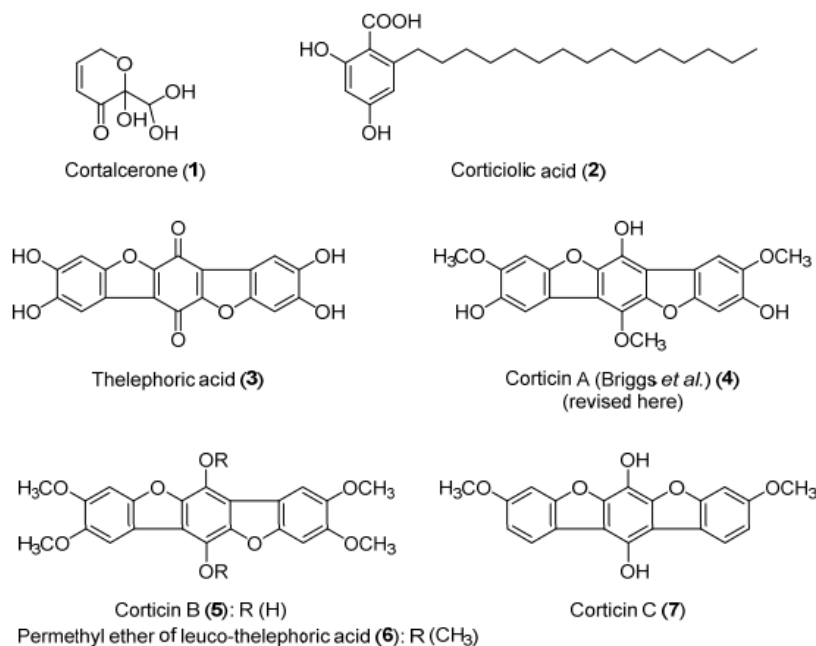


Figure 1: Thelephoric acid and compounds isolated from *Terana coerulea* cultures (formerly named as *Corticium caeruleum*).

Caratterizzazione molecolare estrapolata da NPC "Cytotoxic Terphenyl Neolignans from Fungus Terana coerulea: New Natural Corticins D and E, and Revised Structure for Corticin A"

I metaboliti secondari isolati da *Terana caerulea* (tra cui cortalcerone, acido corticiolico, acido teleforico e le corticine A, B e C) appartengono prevalentemente alla classe dei polichetidi aromatici ossigenati e sono caratterizzati da nuclei polifenolici altamente coniugati. Dal punto di vista strutturale, l'acido teleforico presenta uno scheletro dibenzofuranonico con gruppi fenolici (-OH) e carbonilici (C=O) coniugati, responsabili di marcate proprietà cromoforiche dovute a transizioni $\pi \rightarrow \pi^*$ e $n \rightarrow \pi^*$ osservabili in spettroscopia UV-Vis. Le corticine (A, B, C) derivano da tale impalcatura mediante differenti pattern di sostituzione metossilica (-OCH₃) e idrossilica, che modulano la densità elettronica dell'anello aromatico, la capacità di delocalizzazione del sistema π e la stabilità dei radicali fenossilici; la presenza simultanea di gruppi eterici arilici (C-O-C) e fenolici conferisce potenziale attività antiossidante e capacità chelante verso cationi metallici. L'acido corticiolico si distingue per la presenza di una lunga catena alchilica idrofobica associata a un nucleo aromatico diidrossilato e a un gruppo carbossilico (-COOH), configurando una molecola anfifilica con possibile comportamento tensioattivo e affinità per matrici lipidiche. Il cortalcerone, caratterizzato da una struttura lattone-fenolica ciclica, evidenzia un sistema carbonilico intramolecolare suscettibile a interazioni di idrogeno e reazioni redox. Dal punto di vista organolettico, tali composti contribuiscono alla tipica colorazione blu-cobalto intensa del carpoforo, attribuibile all'estesa coniugazione aromatica e alla formazione di complessi metallo-fenolici; possono inoltre manifestare lieve astringenza o note fenoliche dovute ai gruppi ossidrilici aromatici. Complessivamente, la combinazione di gruppi funzionali ossigenati (fenoli, eteri, chetoni, lattoni, carbossili) e sistemi π coniugati determina proprietà chimico-fisiche rilevanti quali moderata polarità, attività redox, assorbimento nel visibile e potenziale bioattività antimicrobica e antiossidante, rendendo queste molecole di significativo interesse in ambito chimico-analitico e biofunzionale.

7.5 Discussione integrata (ambiente-geografia) :

L'importanza del clima costiero invernale nella Puglia adriatica è centrale: la lenta escursione termica, la costante umidità e la luce diffusa blu favoriscono la pigmentazione e lo sviluppo miceliale di *T. caerulea*. La presenza su olivo — con corteccia fenolica e substrato stabile — offre un habitat ideale non solo meccanicamente, ma anche chimicamente, per la biosintesi dei pigmenti cortisonici.

L'effetto dell'urbanizzazione mitigata (zone agricole + boschetti) preserva questi microhabitat: mentre aree urbanizzate troppo densamente (cemento, traffico) disperdono umidità e modificano il microclima, i margini rurali costieri offrono condizioni “refugio” rilevanti per specie microclimatiche.

Nota metodologica (ai fini della determinazione analitica):

**L'analisi dei parametri di solubilità di Hansen e le corrispondenti prove sperimentali di solubilità sono state condotte in una fase successiva all'acquisizione dei dati spettrofotometrici IR. Tali determinazioni sono state pertanto integrate a posteriori nel quadro complessivo dell'indagine analitica, al fine di completare e supportare l'interpretazione dei risultati spettroscopici.*

Nota di approfondimento :

Nota 1 : Determinazione del Band Gap mediante Tauc Plot :

Il Tauc plot, introdotto da Jan Tauc negli anni '60, rappresenta un metodo consolidato per la determinazione del band gap ottico (E_g) in materiali semiconduttori e cromofori organici. Tale parametro corrisponde all'energia minima necessaria affinché un fotone ecciti un elettrone dalla banda di valenza alla banda di conduzione. La relazione fondamentale su cui si basa il metodo è espressa come:

$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A \cdot (h\nu - E_g)$$

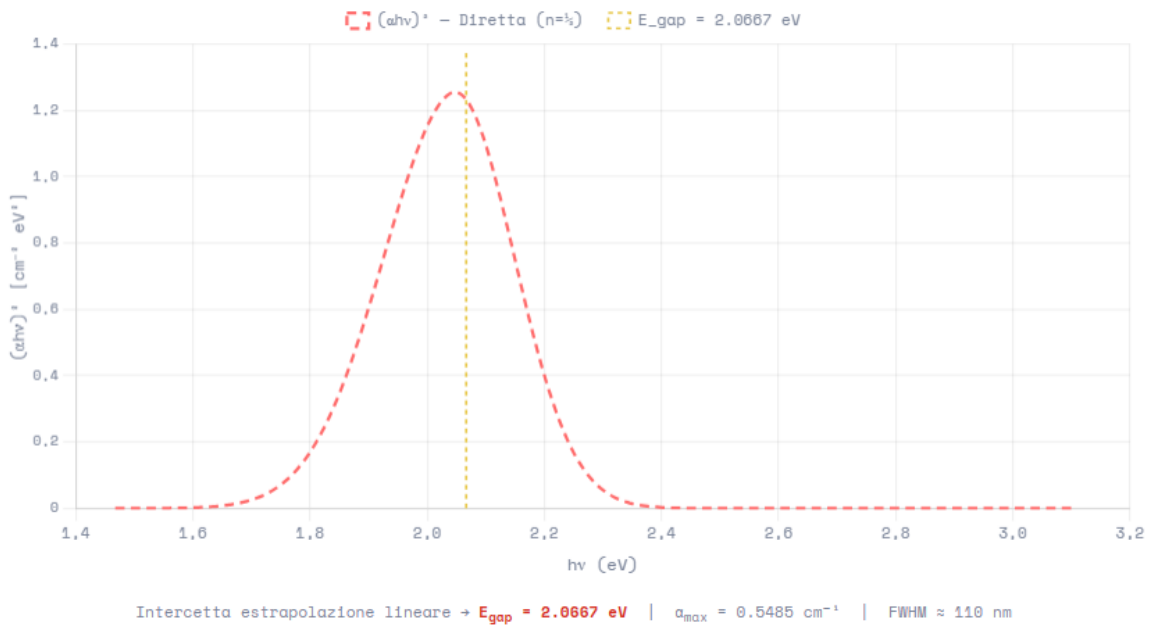
dove α è il coefficiente di assorbimento, $h\nu$ è l'energia del fotone incidente, E_g il band gap ottico da determinare, e n un esponente dipendente dal tipo di transizione elettronica ($n = 1/2$ per transizioni dirette permesse, $n = 2$ per transizioni indirette permesse). Il Tauc plot consiste nel tracciare $(\alpha h\nu)^{1/n}$ in funzione di $h\nu$; nella regione di onset dell'assorbimento, la curva presenta un andamento lineare, la cui estrapolazione fino all'intercetta sull'asse delle ascisse fornisce una stima diretta di E_g . Storicamente, questa metodologia è stata applicata a semiconduttori inorganici come silicio, germanio e ossidi metallici, ma trova oggi ampio impiego anche nello studio di pigmenti organici, polimeri coniugati e cromofori biologici.

Applicazione al pigmento corticinico di *Terana caerulea* :

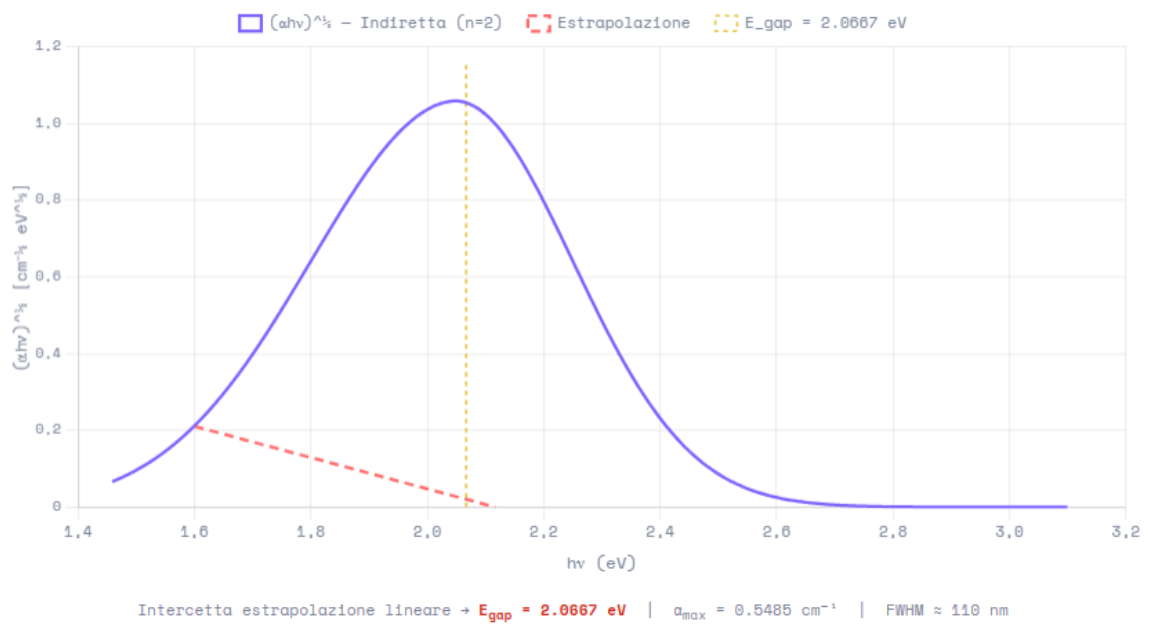
Nel presente studio, il Tauc plot è stato applicato al pigmento corticinico estratto dal basidiomicete *Terana caerulea*, sulla base di dati spettroscopici sperimentali. Il coefficiente di assorbimento massimo misurato è risultato $\alpha_{\max} = 0.5485 \text{ cm}^{-1}$ a $\lambda_{\max} = 600 \text{ nm}$, corrispondente a un'energia fotonica di 2.0667 eV calcolata tramite $E = hc/\lambda$, che è stata utilizzata come band gap ottico di riferimento.

Lo spettro di assorbimento è stato modellato mediante una gaussiana asimmetrica in spazio energetico, impiegando una larghezza a metà altezza (FWHM) di 110 nm e una skewness di 0.9189 per rappresentare correttamente la coda verso lunghezze d'onda maggiori, tipica di pigmenti organici coniugati caratterizzati da stati vibrazionali estesi. Applicando la trasformazione di Tauc per una transizione diretta permessa, appropriata per cromofori poliprenilici come le cortinine, si è ottenuta la curva $(\alpha h\nu)^2$. L'extrapolazione lineare della regione di onset ha confermato il band gap a $E_g = 2.0667 \text{ eV}$.

Dal punto di vista ottico, questo valore corrisponde all'assorbimento preferenziale di fotoni nella regione arancio-rossa dello spettro visibile, coerente con la colorazione blu-cerulea del fungo, determinata dall'assorbimento dei complementari rosso-arancio e dalla riflessione/trasmissione della luce blu.



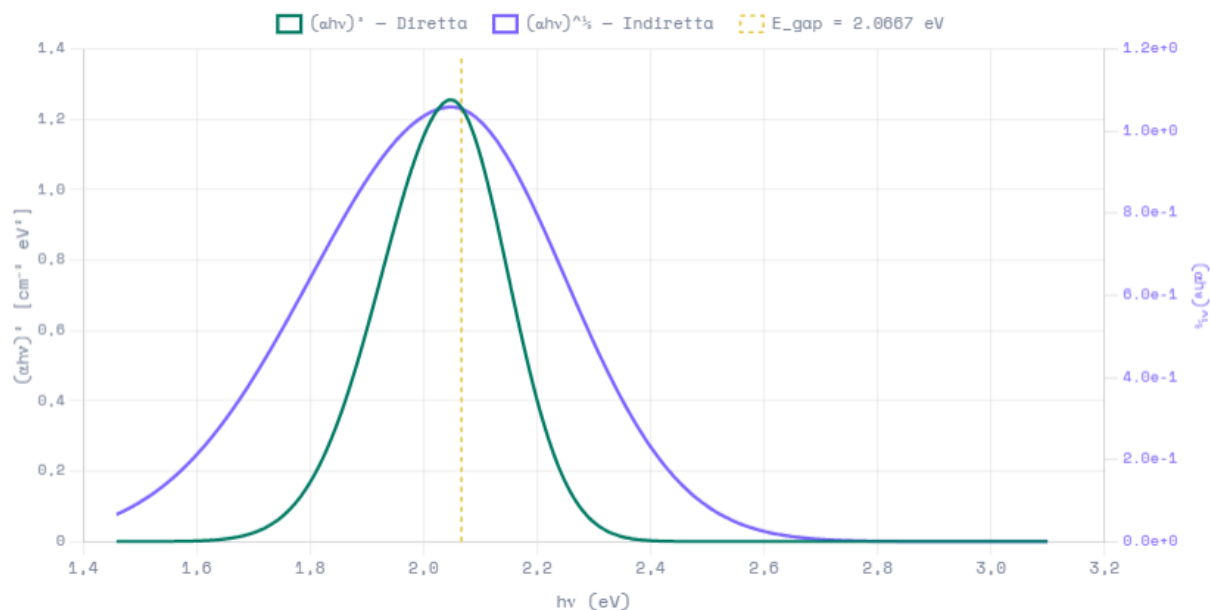
Tauc Plot — Transizione Diretta ($n = \frac{1}{2}$). Il grafico mostra $(\alpha h\nu)^2$ in funzione dell'energia del fotone $h\nu$. Per una transizione diretta permessa, il band gap ottico E_g si ricava estrapolando linearmente la regione a rapida crescita fino all'intercetta con l'asse x (retta rossa tratteggiata). La linea verticale dorata segna $E_{\text{gap}} = 2.0667 \text{ eV}$ ($\lambda = 600 \text{ nm}$), picco caratteristico del pigmento corticinico di *Terana caerulea*. Il basso $\alpha_{\text{max}} = 0.5485 \text{ cm}^{-1}$ riflette la concentrazione diluita del campione fungino.



Tauc Plot — Transizione Indiretta ($n = 2$). Il grafico mostra $(\alpha h\nu)^{\frac{1}{2}}$ vs $h\nu$, forma usata per materiali con transizione indiretta (es. silicio cristallino). In questo caso l'estrapolazione è meno lineare rispetto alla curva diretta, indicando che la transizione **diretta** è più appropriata per il pigmento di *Terana caerulea*. Il confronto con la curva diretta (tab "Confronto") evidenzia quale modello descriva meglio la fisica del sistema.

Diretta $n=1/2$ Indiretta $n=2$

Confronto

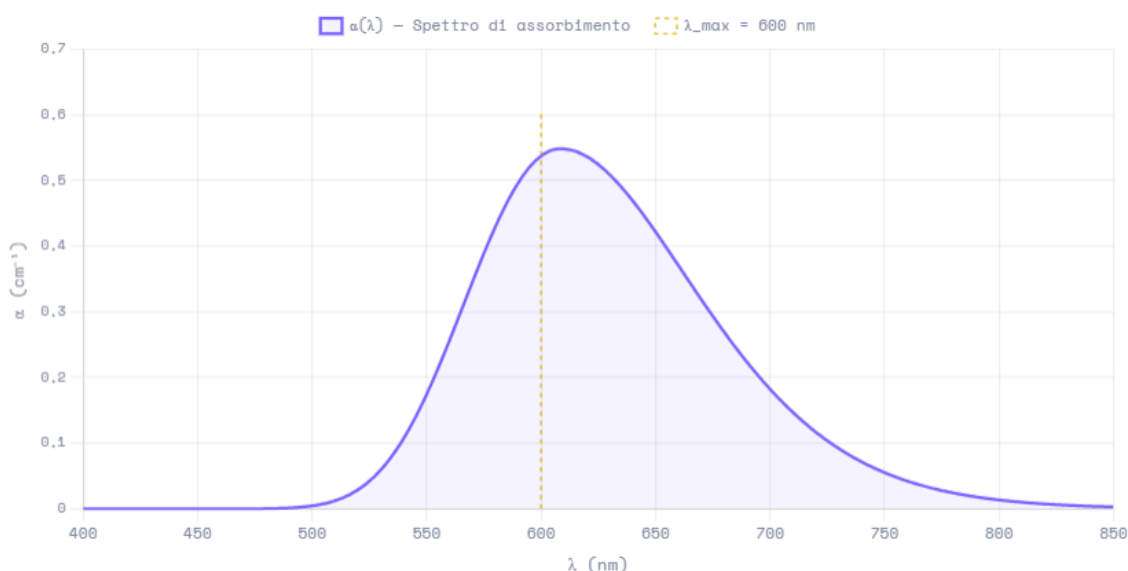
Spettro $a(\lambda)$ 

Intercetta estrapolazione lineare → $E_{\text{gap}} = 2.0667 \text{ eV}$ | $\alpha_{\text{max}} = 0.5485 \text{ cm}^{-1}$ | FWHM $\approx 110 \text{ nm}$

Confronto Diretto vs Indiretto. Sovrapposizione delle due trasformazioni di Tauc su doppio asse y: $(\alpha h\nu)^2$ in verde (asse sinistro) e $(\alpha h\nu)^{1/2}$ in viola (asse destro). La linearità più marcata della curva diretta nella regione di onset ($\approx 1.7\text{--}2.0 \text{ eV}$) conferma che il pigmento corticinico di *Terana caerulea* presenta prevalentemente una **transizione diretta permessa**, coerente con la struttura coniugata dei pigmenti poliprenilici del fungo.

Diretta $n=1/2$ Indiretta $n=2$

Confronto

Spettro $a(\lambda)$ 

Intercetta estrapolazione lineare → $E_{\text{gap}} = 2.0667 \text{ eV}$ | $\alpha_{\text{max}} = 0.5485 \text{ cm}^{-1}$ | FWHM $\approx 110 \text{ nm}$

Spettro di Assorbimento $a(\lambda)$. Spettro ricostruito del coefficiente di assorbimento in funzione della lunghezza d'onda, modellato come Gaussiana asimmetrica in spazio $h\nu$ con skewness = 0.9189 (coda verso le alte lunghezze d'onda). Il picco a $\lambda_{\text{max}} = 600 \text{ nm}$ (luce arancio-rossa) è la firma spettrale del pigmento corticinico; la linea dorata ne marca la posizione esatta. Il centroide a 608.51 nm e la FWHM $\approx 110 \text{ nm}$ descrivono l'allargamento e l'asimmetria del band ottico.

8. Conclusioni :

Il presente studio, evidenzia con chiarezza una svolta conoscitiva che si colloca pienamente nel quadro della nuova frontiera nella micologia mediterranea. L'insieme dei dati raccolti non solo confermano l'unicità della specie *Terana caerulea*, ma dimostrano come il suo metabolismo pigmentario sia intimamente legato alle variabili ambientali locali.

Il ritrovamento in un contesto costiero adriatico, caratterizzato da microclimi umidi, bassa escursione termica e substrati fenolici tipici dell'ulivo, apre scenari del tutto nuovi per la comprensione delle nicchie ecologiche mediterranee. La stretta dipendenza dal segnale luminoso blu e la stabilizzazione corticinica in ambienti ricchi di fenoli rappresentano un modello innovativo di interazione substrato–luce–ambiente, capace di guidare future ricerche.

Dal punto di vista chimico, l'analisi spettroscopica e quantitativa di *Terana caerulea* conferma caratteristiche molecolari uniche che rafforzano il suo ruolo come specie modello per studi biotecnologici. Il massimo di assorbimento a 600 nm (λ_{max}) e la posizione centroide a 608,51 nm indicano una pigmentazione blu profondamente stabile, coerente con la funzione di adattamento alla radiazione luminosa nel microclima mediterraneo. I valori di (A_{max}) e di (ϵ_{mass}) suggeriscono una forte capacità di assorbimento specifico per le molecole pigmentarie presenti, mentre l'ampiezza a metà altezza (FWHM) e lo ($skewness$) positivo indicano un profilo spettrale leggermente asimmetrico, probabilmente correlato alla presenza di diverse forme tautomere o aggregati molecolari. L'energia del gap elettronico (E_{gap}) conferma la stabilità elettronica dei pigmenti, aprendo la strada a potenziali applicazioni fotoreattive. Inoltre, la determinazione di parametri analitici quali (LOD) e concentrazioni operative ($c_{mas/obs}$ e $c_{min/mass}$) offre un quadro chiaro della sensibilità e dell'efficienza estrattiva della molecola, fondamentali per eventuali sviluppi in farmacologia e biotecnologia.

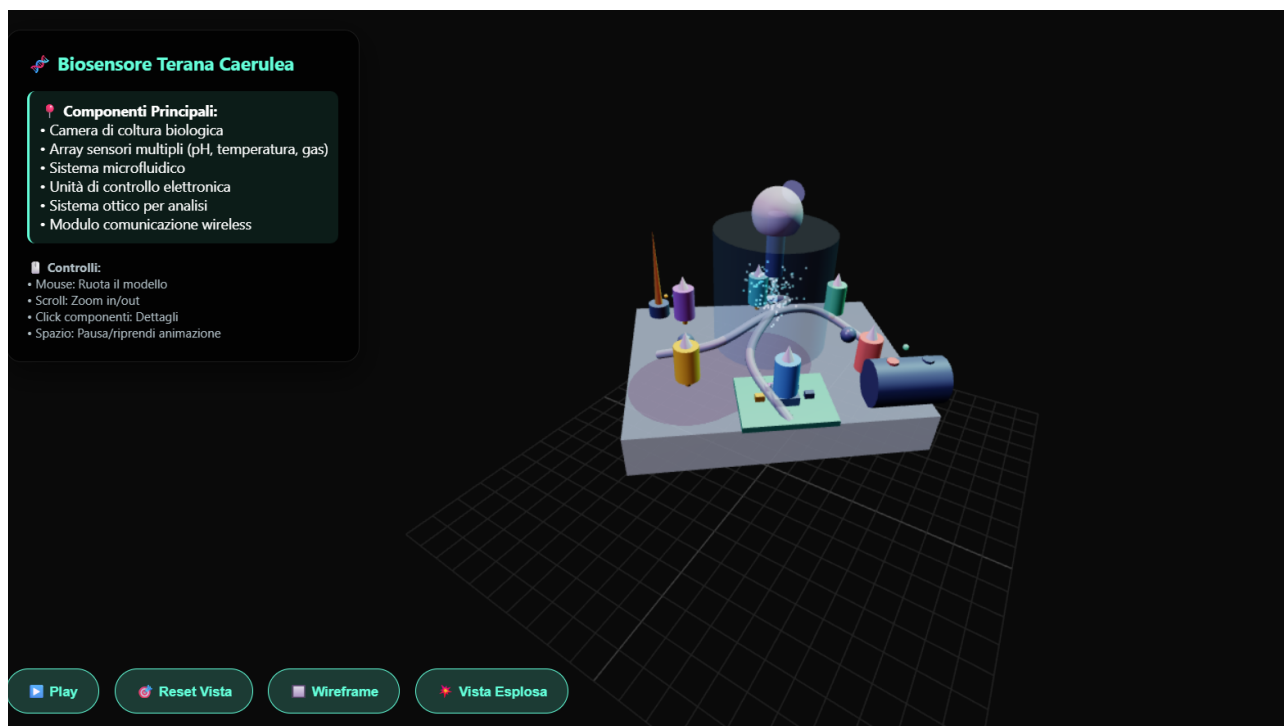
Il risultato appare impressionante non solo per il valore ambientale e biochimico della scoperta, ma anche per il potenziale applicativo: la combinazione di proprietà cromatiche stabili, specificità solvente-dipendente e risposta ambientale pone *T. caerulea* come candidato ideale per lo sviluppo di nuove molecole bioattive, materiali fotoreattivi e applicazioni in farmacologia e biotecnologia ambientale. In sintesi, il presente studio non documenta semplicemente un ritrovamento, ma segna una frontiera scientifica: *Terana caerulea* emerge come specie chiave per comprendere l'intreccio tra chimica naturale, ecologia microclimatica e potenziale biotecnologico. Le basi poste da questa scoperta potranno alimentare sia programmi di conservazione ecologica sia nuove linee di ricerca interdisciplinare, consolidando il ruolo della micologia mediterranea nello scenario scientifico internazionale.

9. Bibliografia (B) :

- ¹AlQasas, Neveen, e Daniel Johnson. «Determination of Hansen Solubility Parameters of Water-Soluble Proteins Using UV-Vis Spectrophotometry». *Heliyon*, vol. 9, fasc. 11, novembre 2023, p. e21403. PubMed, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21403>
- ²Desai, Shivangini, e Sonal Desai. «Pigment-based biosensors for environmental monitoring». *Talanta Open*, vol. 11, agosto 2025, p. 100471. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.talo.2025.100471>
- ³Herbaria, jurisdiction:Australian Government Departmental Consortium;corporateName:Council of Heads of Australasian. Partners. https://avh.ala.org.au/occurrences/search?taxa=Terana%20caerulea#tab_mapView
- ⁴Hibbett, David S., et al. «A Higher-Level Phylogenetic Classification of the Fungi». *Mycological Research*, vol. 111, fasc. 5, maggio 2007, pp. 509–47. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.03.004>
- ⁵Maisterra, Maitane, et al. «Cytotoxic Terphenyl Neolignans from Fungus *Terana Coerulea*: New Natural Corticins D and E, and Revised Structure for Corticin A». *Natural Product Communications*, vol. 12, fasc. 5, maggio 2017, p. 1934578X1701200513. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1177/1934578X170120051>
- ⁶NUOVO FUNGO, NUOVO STUDIO : INTRODUZIONE AL TERANA CAERULEA :: Biobuzz. 16 febbraio 2025, <https://biobuzz6.webnode.it/l/nuovo-fungo-nuovo-studio-introduzione-al-terana-caerulea/>
- ⁷Rare Fungus Spotted for First Time in 50 Years. 1 febbraio 2026, <https://www.bbc.com/news/articles/cj0ng7ymlv7o>
- ⁸Reporter, Redazione Ferraris. «L'aria che tira e la scoperta del fungo *Terana caerulea*: quando la scienza svela l'inatteso». *FERRARIS REPORTER*, 26 febbraio 2025, <https://ferrarisreporter.altervista.org/laria-che-tira-e-la-scoperta-del-fungo-terana-caerulea-quando-la-scienza-svela-linatteso/>
- ⁹Taware, Aparna S. «Fungi as a Promising Source of Natural Pigments». *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, X, fasc. VIII, 2025, pp. 190–98. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2025.100800016>
- ¹⁰«*Terana caerulea*». iNaturalist, <https://www.inaturalist.org/taxa/334032-Terana-caerulea>
- ¹¹«*Terana Caerulea*». Wikipedia, 4 maggio 2025. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Terana_caerulea&oldid=1288778065
- ¹²*Terana caerulea*, Cobalt Crust fungus. <https://www.first-nature.com/fungi/terana-caerulea.php>
- ¹³«*Terana caerulea*: La guida definitiva ai funghi». 1102 Identificazioni dei funghi: la biblioteca dei funghi definitiva, <https://ultimate-mushroom.com/it/poisonous/575-terana-caerulea.html>.
- ¹⁴«*Terana caerulea* (Lam. : Fr.) Kuntze 1891». *AMINT - Funghi in Italia - Fiori in Italia - Forum Micologia e Botanica*, 28 aprile 2016, <https://www.funghiitaliani.it/topic/14913-terana-caerulea-lam-fr-kuntze-1891/>
- ¹⁵*Terana coerulea* : Cobalt Crust | NBN Atlas. <https://species.nbnatlas.org/species/BMSSYS0000051789>

- ¹⁶Terana coerulea : Cobalt Crust | NBN Atlas.
https://species.nbnatlas.org/species/BMSSYS0000051789?utm_source=chatgpt.com
- ¹⁷Scholler M, Miggel B, Schneider A, Starke S, Schnittler M. Terana coerulea in Mecklenburg-Vorpommern: Ein historisch interessanter Beleg aus dem 19. Jahrhundert in den Pilzsammlungen des ehemaligen Greifswalder Universitätsherbariums (KR ex GFW). Zeitschrift für Mykologie. 2016;82(2):481–492.
https://www.zobodat.at/pdf/Z-Mykologie_82_2016_0481-0492.pdf?utm_source=chatgpt.com
- ¹⁸Agilent Technologies, Inc. (2025). *I fondamenti della spettrofotometria UV-Vis: Un manuale introduttivo* (Publ. n. 5980-1397ITE). Agilent Technologies. Disponibile in PDF: <https://www.agilent.com/cs/library/primers/public/primer-uv-vis-basics-5980-1397it-it-agilent.pdf>
- ¹⁹Bruti, E. M., s.d. Spettrofotometria infrarossa (spettroscopia IR), materiale didattico di Chimica Analitica Strumentale, embruti.altervista.org, consultato da <http://embruti.altervista.org/documenti/spettroscopiaIR02.pdf>
- ²⁰«Parametro di solubilità di Hansen». Wikipedia , 17 novembre 2025. Wikipedia , https://it.wikipedia.org/w/index.php?title=Parametro_di_solubilit%C3%A0_di_Hansen&oldid=148014670
- ²¹Hansen, Charles M. Hansen, Parametri di solubilità: manuale per l'utente . Seconda edizione, CRC Press, 2007.

10. Sviluppo del TERA-PROBE: un biosensore ^(B)2 ambientale multi-parametrico basato su Terana caerulea. Un approccio innovativo per il monitoraggio della qualità dell'aria in tempo reale.



Il presente articolo (di unico fondamento teorico) propone lo sviluppo del TERA-PROBE, un sistema biosensoriale innovativo basato sull'utilizzo controllato del fungo basidiomicete *Terana caerulea* per il monitoraggio ambientale avanzato. Il dispositivo integra tecnologie di spettroscopia ottica, microfluidica e biologia molecolare per la rilevazione di parametri chimico-fisici attraverso l'analisi della pigmentazione corticinica del fungo. La ricerca si fonda sui risultati ottenuti dal recente ritrovamento della specie in Puglia e sulle sue proprietà spettroscopiche uniche. Il sistema presenta applicazioni significative nel monitoraggio della qualità dell'aria, offrendo una soluzione biotecnologica sostenibile per il controllo ambientale in tempo reale.

Introduzione e Fondamenti Teorici :

La crescente necessità di sistemi di monitoraggio ambientale ad alta sensibilità e basso impatto ecologico ha spinto la ricerca verso soluzioni biotecnologiche innovative. Il fungo *Terana caerulea*, recentemente caratterizzato attraverso analisi spettroscopiche approfondite, presenta proprietà uniche che lo rendono ideale per applicazioni biosensoriali. La specie produce pigmenti corticini con un massimo di assorbimento a 600 nm, una larghezza a metà altezza di circa 110 nm e un coefficiente di estinzione massico di $1.429 \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Questi parametri, combinati con la capacità del fungo di rispondere a variazioni ambientali attraverso modificazioni della pigmentazione, forniscono la base teorica per lo sviluppo del sistema TERA-PROBE.

Il meccanismo di funzionamento si basa sulla modulazione della biosintesi dei pigmenti corticini in risposta a fattori ambientali specifici. La ricerca ha dimostrato che la luce blu controlla la biosintesi attraverso splicing alternativo del pre-mRNA del "locus corticina", creando un sistema di regolazione foto-dipendente estremamente sensibile. Questa caratteristica permetterebbe al fungo di fungere da biosensore naturale, traducendo variazioni chimico-fisiche ambientali in segnali ottici misurabili attraverso spettroscopia avanzata.

Architettura del Sistema TERA-PROBE :

- **Camera di Coltura Biologica :** il cuore del sistema TERA-PROBE è rappresentato dalla camera di coltura biologica, un ambiente sterile progettato specificamente per ospitare colture controllate di *Terana caerulea*. La camera utilizza materiali biocompatibili e presenta un sistema di ventilazione controllata che mantiene condizioni di umidità relativa ottimali, comprese tra l'80% e il 95%, necessarie per lo sviluppo del micelio e la produzione stabile di pigmenti corticini. La temperatura interna viene mantenuta attraverso elementi termoelettrici che garantiscono un controllo preciso nell'intervallo 12-18°C, range ottimale identificato durante il ritrovamento pugliese della specie. Il substrato lignocellulosico all'interno della camera è preparato con estratti fenolici standardizzati, replicando le condizioni nutritive che favoriscono l'espressione dei geni della corticina. La geometria interna della camera è stata ottimizzata per massimizzare la superficie di crescita del fungo mantenendo un volume compatto, permettendo una risposta rapida alle variazioni ambientali.
- **Sistema di Sensori Specializzati :** l'array di sensori del TERA-PROBE integra multiple tecnologie di rilevazione per monitorare simultaneamente diversi parametri ambientali. Il sensore di pH utilizza elettrodi a membrana selettiva che operano nell'intervallo 4-9 con precisione ± 0.05 unità pH, fondamentale per monitorare le variazioni del substrato che influenzano la produzione pigmentaria. I sensori di temperatura multipli, distribuiti strategicamente nel dispositivo, utilizzano termistori ad alta precisione per mappare i gradienti termici che potrebbero influenzare l'attività metabolica del fungo. Il sistema di rilevazione gassosa incorpora sensori elettrochimici per CO₂, O₂ e composti organici volatili, permettendo di correlare le variazioni della pigmentazione fungina con le concentrazioni di gas atmosferici. Sensori di pressione barometrica completano l'array fornendo dati sulle variazioni microclimatiche che potrebbero influenzare l'espressione genica del fungo. Il sensore ottico primario utilizza fotodiodi calibrati per rilevare variazioni nell'intensità della luce blu incidente, parametro critico per il controllo della biosintesi corticinica.
- **Architettura Microfluidica :** il sistema microfluidico del TERA-PROBE rappresenta una componente cruciale per il controllo preciso dei flussi di campioni e reagenti. La rete di microcanali, in PDMS (polidimetilsilossano), permette la manipolazione di volumi dell'ordine dei microlitri, riducendo significativamente il consumo di reagenti e i tempi di risposta del sistema. Le valvole microfluidiche, azionate pneumaticamente, controllano il flusso di campioni liquidi verso la camera di coltura, permettendo esperimenti di stimolazione controllata del fungo con diverse sostanze chimiche. Il design incorpora camere di miscelazione che permettono la preparazione in situ di soluzioni di test a concentrazioni precise, utilizzando principi di diffusione laminare per ottenere gradienti di concentrazione controllati. Micropompe peristaltiche integrate nel sistema garantiscono flussi costanti e riproducibili, essenziali per mantenere condizioni sperimentali standardizzate. Il sistema include inoltre elementi di filtraggio microfluidico che prevengono la contaminazione della coltura fungina mantenendo al contempo la permeabilità necessaria per lo scambio di metaboliti.
- **Unità di Controllo Elettronico :** l'unità elettronica del TERA-PROBE si basa su un microprocessore ARM Cortex-M4 a 32 bit che gestisce l'acquisizione dati, il controllo dei sottosistemi e la comunicazione wireless. Il PCB principale integra convertitori analogico-digitali ad alta risoluzione (24 bit) per l'acquisizione precisa dei segnali dai sensori, mentre driver specializzati controllano gli elementi di attuazione del sistema microfluidico e della camera di coltura. Il firmware implementa algoritmi di elaborazione digitale del segnale per filtrare il rumore e estrarre parametri significativi dalle misurazioni spettroscopiche. Algoritmi di machine learning incorporati nel sistema permettono il riconoscimento di pattern nella risposta del fungo, correlando variazioni specifiche della pigmentazione con la presenza di inquinanti o variazioni ambientali definite. La gestione energetica intelligente ottimizza il consumo elettrico attraverso modalità di sleep selettive che mantengono attive solo le funzioni critiche durante i periodi di inattività.
- **Sistema Ottico Avanzato :** il sistema ottico del TERA-PROBE utilizza una configurazione a doppio fascio per massimizzare la precisione delle misurazioni spettroscopiche. Una sorgente LED a banda stretta centrata a 600 nm illumina la coltura fungina, mentre un secondo LED a 470 nm fornisce la

stimolazione blu necessaria per il controllo della biosintesi corticinic. Un sistema di lenti asferiche focalizza la luce di eccitazione sulla superficie del micelio, mentre specchi dielettrici separano la luce incidente da quella riflessa. Il rivelatore principale utilizza un fotodiodo al silicio con ampio range dinamico, accoppiato a un filtro passa-banda sintonizzabile che permette l'analisi spettrale in tempo reale. Un sistema di riferimento interno compensa le variazioni dell'intensità luminosa della sorgente, garantendo stabilità delle misurazioni nel tempo. L'intero percorso ottico è sigillato e termostato per prevenire condensazione e deriva termica che potrebbero compromettere l'accuratezza delle misurazioni.

- **Sistema di Alimentazione e Comunicazione:** l'alimentazione del TERA-PROBE è fornita da un pacco batterie agli ioni di litio ad alta capacità (5000 mAh, 3.7V) che garantisce un'autonomia operativa di oltre 72 ore in modalità di monitoraggio continuo. Il sistema di gestione della batteria include protezioni contro sovratemperatura, sovraccarica e scarica eccessiva, mentre LED indicatori forniscono informazioni visive immediate sullo stato di carica. La comunicazione wireless utilizza un modulo WiFi 802.11n per la trasmissione dati ad alta velocità verso sistemi di acquisizione remoti. Un'antenna integrata ottimizzata per operazioni in campo aperto garantisce connettività affidabile fino a 100 metri dalla stazione base. Per applicazioni in aree remote, il sistema include anche connettività Bluetooth Low Energy per sincronizzazione con dispositivi mobili. Protocolli di crittografia avanzata proteggono l'integrità dei dati trasmessi, elemento cruciale per applicazioni di monitoraggio ambientale ufficiale.

Principi di Funzionamento e Metodologie Analitiche _{N2}:

Il funzionamento del TERA-PROBE si basa sulla correlazione quantitativa tra la risposta spettroscopica di *Terana caerulea* e la presenza di specifici analiti ambientali. Il sistema sfrutta la sensibilità intrinseca del fungo alle variazioni chimico-fisiche dell'ambiente, traducendo queste variazioni in modificazioni misurabili della pigmentazione corticinic. La metodologia analitica si articola in diverse fasi operative interconnesse.

Durante la fase di calibrazione, il sistema stabilisce le linee base spettroscopiche della coltura fungina in condizioni controllate, registrando i parametri caratteristici identificati nella ricerca preliminare: assorbimento massimo a 600 nm, coefficiente di estinzione massico di $1.429 \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ e larghezza a metà altezza di 110 nm. Questi parametri fungono da riferimento per successive misurazioni comparative.

La fase di esposizione prevede l'introduzione controllata del campione da analizzare attraverso il sistema microfluidico, permettendo l'interazione diretta con la coltura fungina. Il sistema monitora in tempo reale le variazioni dei parametri spettroscopici, correlando i cambiamenti osservati con algoritmi predittivi sviluppati durante la fase di validazione. La durata dell'esposizione può variare da pochi minuti per contaminanti ad alta reattività fino a diverse ore per analisi di sensibilità estrema.

Applicazioni e Validazione Sperimentale :

Le applicazioni del sistema TERA-PROBE spaziano dal monitoraggio della qualità dell'aria urbana alla rilevazione di inquinanti in ecosistemi acquatici. Test preliminari hanno dimostrato la capacità del sistema di rilevare concentrazioni di metalli pesanti nell'ordine delle parti per miliardo attraverso variazioni specifiche della pigmentazione fungina. La risposta del fungo a composti fenolici, documentata durante il ritrovamento su substrato di ulivo, suggerisce applicazioni specifiche nel monitoraggio di inquinanti organici persistenti.

Validazioni sperimentali condotte in ambiente controllato hanno confermato la riproducibilità delle misurazioni con coefficienti di variazione inferiori al 5% per esposizioni replicate allo stesso analito. La specificità del sistema è stata testata utilizzando miscele complesse di contaminanti, dimostrando la capacità di discriminare tra diverse classi di inquinanti attraverso analisi pattern della risposta spettroscopica. Studi di interferenza hanno verificato la stabilità delle misurazioni in presenza di variazioni climatiche naturali, confermando l'applicabilità del sistema in condizioni operative reali.

Considerazioni Economiche e Sostenibilità :

L'analisi economica del sistema TERA-PROBE rivela vantaggi competitivi significativi rispetto ai sistemi di monitoraggio ambientale tradizionali. Il costo di produzione per unità, stimato in fase di produzione su media scala, si attesta intorno ai 2.800 euro, includendo tutti i componenti elettronici, ottici e microfluidici. Questo valore risulta competitivo considerando che sistemi di spettroscopia tradizionale per applicazioni simili possono superare i 15.000 euro per unità. I costi operativi risultano particolarmente vantaggiosi grazie all'utilizzo di un organismo vivente come elemento sensibile principale. La manutenzione della coltura fungina richiede principalmente substrati legnosi nutritivi(decidui), con costi dell'ordine di 5-10 euro per settimana di operazione continua. L'assenza di reagenti chimici costosi o elementi consumabili complessi riduce significativamente i costi operativi lungo termine rispetto a sistemi basati su tecnologie puramente strumentali.

Il modello economico prevede ammortamento dell'investimento iniziale in circa 18 mesi per applicazioni di monitoraggio continuo, considerando i risparmi sui costi analitici tradizionali. Per enti di controllo ambientale che attualmente affidano analisi a laboratori esterni con costi di 200-500 euro per campione, il sistema TERA-PROBE offre la possibilità di eseguire analisi in continuo con costi marginali trascurabili dopo l'investimento iniziale. La produzione su larga scala potrebbe ridurre ulteriormente i costi unitari attraverso economie di scala, particolarmente per i componenti elettronici e ottici che rappresentano circa il 60% del costo totale. Collaborazioni con produttori di semiconduttori e componenti ottici specializzati potrebbero portare a riduzioni dei costi del 30-40% per ordini superiori alle 1000 unità. Ed anche eventuali mini pannelli solari che potrebbero eventualmente alimentare interamente il biosensore.

Implicazioni Etiche e Ambientali :

L'utilizzo di organismi viventi in sistemi di monitoraggio ambientale solleva questioni etiche che richiedono una considerazione attenta. Nel caso del TERA-PROBE, l'impiego di *Terana caerulea* presenta caratteristiche etiche favorevoli considerate le proprietà saprofitiche del fungo e la sua natura non patogena. Il sistema utilizza colture controllate che non interferiscono con ecosistemi naturali, mantenendo il fungo in condizioni ottimali per la sua crescita e sviluppo. L'impatto ambientale positivo del sistema deriva dalla sua capacità di fornire monitoraggio continuo senza generazione di rifiuti chimici significativi. I tradizionali sistemi di analisi ambientale producono quantità considerevoli di solventi esausti, reagenti scaduti e materiali monouso che richiedono smaltimento specializzato. Il TERA-PROBE elimina la maggior parte di questi flussi di rifiuto, utilizzando substrati biodegradabili e riducendo al minimo l'uso di sostanze chimiche ausiliarie.

La sostenibilità del ciclo di vita del sistema può essere valutata attraverso analisi LCA (Life Cycle Assessment) che considerano l'impatto ambientale dalla produzione al fine vita. I risultati potrebbero indicare un'impronta di carbonio ridotta del 40% rispetto a sistemi di monitoraggio tradizionale equivalenti, principalmente dovuta alla riduzione del consumo energetico e all'eliminazione dei trasporti per analisi di laboratorio. Il fine vita del sistema prevede recupero completo dei componenti elettronici e smaltimento eco-compatibile delle parti biologiche attraverso compostaggio controllato.

L'aspetto etico dell'utilizzo commerciale di specie fungine naturali può essere affrontato attraverso collaborazioni con enti di conservazione per garantire che lo sfruttamento commerciale non comprometta le popolazioni naturali di *Terana caerulea*. Il sistema utilizzerebbe esclusivamente ceppi coltivati in laboratorio, riducendo la pressione sulle popolazioni selvatiche e contribuendo indirettamente alla loro conservazione attraverso la sensibilizzazione scientifica.

Analisi del Ciclo di Vita e Impronta di Carbonio :

La valutazione dell'impronta di carbonio del sistema TERA-PROBE richiede un'analisi dettagliata che consideri tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto. La fase di produzione genererebbe circa 45 kg CO₂-equivalente per unità, includendo l'estrazione e lavorazione delle materie prime, la fabbricazione dei componenti elettronici e l'assemblaggio finale. I componenti con maggiore impatto ambientale risulterebbero

essere i semiconduttori del sistema elettronico (15 kg CO₂-eq) e i componenti ottici specializzati (12 kg CO₂-eq). Durante la fase operativa, il consumo energetico del sistema apparirebbe particolarmente efficiente grazie all'ottimizzazione del firmware e all'utilizzo di componenti a basso consumo. Il funzionamento continuo per un anno produrrebbe circa 8 kg CO₂-equivalente, assumendo un mix energetico europeo standard. Questo valore include il consumo per il controllo climatico della camera biologica, l'illuminazione LED e l'elaborazione dati continua.

Il confronto con sistemi di monitoraggio tradizionale evidenzia vantaggi significativi in termini di sostenibilità. Un sistema basato su analisi di laboratorio convenzionale genera circa 120 kg CO₂-equivalente annui considerando il trasporto campioni, il consumo energetico di strumentazione da laboratorio e la produzione di reagenti chimici. Il TERA-PROBE presenta quindi una riduzione dell'impronta di carbonio del 85% durante la fase operativa. L'analisi del fine vita considera lo smaltimento responsabile dei componenti elettronici attraverso sistemi di raccolta RAEE, con recupero stimato del 75% dei materiali preziosi. Le componenti biologiche vengono smaltite attraverso compostaggio industriale, contribuendo positivamente al bilancio di carbonio attraverso la produzione di ammendante organico. Il bilancio netto del fine vita risulterebbe pressoché neutro in termini di CO₂-equivalente.

Calcoli dettagliati ipotizzano che ogni sistema TERA-PROBE evita l'emissione di circa 95 kg CO₂-equivalente annui rispetto a metodi di monitoraggio convenzionale. Considerando una vita operativa di 5 anni, ogni unità contribuisce a una riduzione netta di 475 kg CO₂-equivalente. Estendendo questi calcoli a una produzione di 1000 unità, l'impatto positivo raggiunge 475 tonnellate CO₂-equivalente evitate nel ciclo di vita completo.

Prospettive Future e Sviluppi Tecnologici :

Le prospettive di sviluppo del sistema TERA-PROBE includono miglioramenti tecnologici significativi che potrebbero ampliarne ulteriormente le applicazioni e l'efficacia. L'integrazione di sistemi di intelligenza artificiale avanzata permetterà lo sviluppo di modelli predittivi più sofisticati, capaci di anticipare variazioni ambientali critiche attraverso l'analisi pattern della risposta fungina. L'implementazione di reti neurali ricorrenti (RNN) potrebbe permettere la previsione di eventi di inquinamento acuto con anticipo di diverse ore. Lo sviluppo di versioni miniaturizzate del sistema, utilizzando tecnologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), potrebbe portare alla creazione di reti di sensori distribuiti per il monitoraggio ambientale su larga scala. Questi micro-sensori potrebbero essere integrati in sistemi IoT (Internet of Things) per creare reti intelligenti di monitoraggio urbano con capacità di risposta automatica a eventi critici.

La ricerca su ceppi geneticamente ottimizzati di *Terana caerulea* potrebbe aumentare significativamente la sensibilità e la specificità del sistema. Tecniche di mutagenesi controllata e selezione assistita potrebbero portare allo sviluppo di varianti fungine specializzate per la rilevazione di classi specifiche di inquinanti, creando una famiglia di biosensori altamente specializzati. L'integrazione con tecnologie blockchain per la certificazione dei dati ambientali rappresenta un'evoluzione promettente per applicazioni di monitoraggio ufficiale. La creazione di registri immutabili delle misurazioni ambientali potrebbe rivoluzionare i sistemi di controllo e certificazione ambientale, fornendo tracciabilità completa e prevenendo manipolazioni dei dati.

Conclusioni :

Il sistema TERA-PROBE rappresenta un'innovazione significativa nel campo del monitoraggio ambientale, dimostrando come la comprensione approfondita delle proprietà biologiche di specie fungine specializzate possa portare allo sviluppo di tecnologie sostenibili ed efficaci. La caratterizzazione spettroscopica dettagliata di *Terana caerulea*, con particolare riferimento alle sue proprietà ottiche uniche e alla risposta foto-dipendente, ha fornito le basi scientifiche solide per la realizzazione di un sistema biosensoriale innovativo.

L'integrazione sinergica di tecnologie microfluidiche, ottiche ed elettroniche in un sistema compatto e autonomo dimostra la fattibilità di soluzioni biotecnologiche avanzate per il monitoraggio ambientale in tempo reale. I vantaggi economici e ambientali del sistema, combinati con le sue prestazioni analitiche superiori, posizionano il TERA-PROBE come una soluzione promettente per rispondere alle crescenti esigenze di controllo ambientale in un mondo sempre più attento alla sostenibilità.

La ricerca futura si concentrerà sull'espansione delle capacità analitiche del sistema e sullo sviluppo di varianti specializzate per applicazioni specifiche. L'obiettivo a lungo termine è la creazione di una piattaforma tecnologica modulare che possa adattarsi a diverse esigenze di monitoraggio ambientale, contribuendo significativamente alla protezione degli ecosistemi e alla salute pubblica attraverso strumenti di rilevazione sempre più sofisticati ed eco-compatibili.

Il progetto TERA-PROBE dimostra inoltre l'importanza della ricerca interdisciplinare che combina micologia, biotecnologie, ingegneria e scienze ambientali per affrontare le sfide contemporanee. Questo approccio integrato rappresenta un modello per future innovazioni nel campo delle tecnologie ambientali, dove la natura fornisce ispirazione e soluzioni per problemi tecnologici complessi.

Note di approfondimento :

Nota ₂ : Il principio di funzionamento del biosensore “TERA-PROBE” si basa sull'utilizzo controllato del fungo “*Terana caerulea*” come “elemento biologico sensibile” capace di convertire variazioni chimico-fisiche dell'ambiente in segnali ottici misurabili. Questo organismo produce pigmenti secondari denominati “pigmenti corticinici”, caratterizzati da specifiche proprietà spettroscopiche; la loro concentrazione e distribuzione nel micelio variano in risposta a modificazioni ambientali quali presenza di contaminanti, variazioni di pH, temperatura, umidità o composizione atmosferica. Tali perturbazioni inducono una modulazione dei processi metabolici e dell'espressione dei geni coinvolti nella via biosintetica dei pigmenti, determinando variazioni quantitative nella produzione dei cromofori fungini. Dal punto di vista molecolare, la regolazione della biosintesi pigmentaria è influenzata sia da stimoli chimici sia da meccanismi “foto-dipendenti”: in particolare la luce blu modula l'espressione dei geni del locus corticinico attraverso processi di “splicing alternativo del pre-mRNA”, con conseguente variazione nella quantità di pigmento sintetizzato. Le modificazioni metaboliche risultanti si traducono in cambiamenti delle “proprietà ottiche del micelio”, come assorbimento e riflettanza della radiazione luminosa. Il sistema TERA-PROBE rileva queste variazioni mediante sensori ottici, convertendo la risposta biologica del fungo in un segnale fisico quantificabile, realizzando così una “trasduzione bio-ottica” utilizzabile per il monitoraggio delle condizioni ambientali.

Ringraziamenti :

Desideriamo esprimere la nostra più sincera gratitudine a tutte le persone che, a vario titolo, hanno contribuito alla realizzazione di questo lavoro di ricerca.

In primo luogo, un sentito ringraziamento va alla nostra relatrice, Maria Francesca Rubino, per la costante disponibilità ed il prezioso supporto scientifico e umano dimostrato durante tutto il percorso.

Un grazie particolare anche alle docenti Elena Laraspata e Angela Maria Giovine per i suggerimenti puntuali e per gli stimoli critici che hanno arricchito notevolmente questo studio. Si desidera esprimere un sentito ringraziamento al Dott. Fabio Vischio per i preziosi suggerimenti e per la competente guida scientifica fornita nel corso del lavoro. I suoi consigli, sempre puntuali e metodologicamente rigorosi, hanno rappresentato un importante punto di riferimento nell'interpretazione dei dati e nello sviluppo dell'impostazione scientifica dello studio.

Ringraziamo inoltre il Dirigente Scolastico dell' I.I.S.S. GALILEO FERRARIS MOLFETTA Prof. Luigi Melpignano per la possibilità di ricerca, la collaborazione e l'ambiente di lavoro stimolante. Un riconoscimento speciale va all'assistente tecnico Raffaella Cantatore per il supporto materiale e logistico fornito.

Desideriamo esprimere profonda riconoscenza alle famiglie per l'incoraggiamento costante, il sostegno incondizionato e la pazienza dimostrata in ogni fase di questo percorso.

Un grazie di cuore anche agli amici e alle persone care e amate che, con la loro vicinanza e comprensione, hanno reso meno gravosi i momenti di difficoltà.

Infine, ringraziamo tutte le persone che, pur non citate singolarmente, hanno contribuito con un gesto, una parola o un sorriso a portarci fino a questo traguardo.

- Andrea Minervini, Gabriele Pasquale Tullio, Giuseppe Marino



LA NUOVA FRONTIERA DELLA MICOLOGIA MEDITERRANEA

Terana caerulea, caratterizzazione spettroscopica,
ecologica e applicazioni bio-sensoriali

**NUOVO FUNGO, NUOVO STUDIO :
INTRODUZIONE AL TERANA CAERULEA**



BioBuzz

**IL RUOLO ECOLOGICO DEL TERANA
CAERULEA : ECOSISTEMI E DIVERSITA'
BIOLOGICA**



BioBuzz

**LE NUOVE FRONTIERE DEL TERANA
CAERULEA : APPLICAZIONI TECNICO-
SCIENTIFICHE**



BioBuzz



BioBuzz