



ΕΑΠ

ΜΠΣ Σχεδιασμός Φωτισμού

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Πτυχές της Βιοφωταύγειας στην Τέχνη και την Πολιτική Ορατότητα  
Το σώμα ως Φορητό Τοπίο

Χρύσα Παναγιωτοπούλου

Επιβλέπουσα: Βερονίκη Κορακίδου

Αθήνα, Ελλάδα, Σεπτέμβριος 2026

Theses / Dissertations remain the intellectual property of students (“authors/creators”), but in the context of open access policy they grant to the HOU a non-exclusive license to use the right of reproduction, customisation, public lending, presentation to an audience and digital dissemination thereof internationally, in electronic form and by any means for teaching and research purposes, for no fee and throughout the duration of intellectual property rights. Free access to the full text for studying and reading does not in any way mean that the author/creator shall allocate his/her intellectual property rights, nor shall he/she allow the reproduction, republication, copy, storage, sale, commercial use, transmission, distribution, publication, execution, downloading, uploading, translating, modifying in any way, of any part or summary of the dissertation, without the explicit prior written consent of the author/creator. Creators retain all their moral and property rights.





“Aspects of Bioluminescence in Art and the Politics of Visibility

The body as a migrating landscape”

Chrysa Panagiotopoulou

Supervising Committee

Supervisor:

Veroniki Korakidou

Co-Supervisor:

Ioanna Symeonidou

Athens, Greece, September 2026

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τη βιοφωταύγεια ως βιολογική στρατηγική διαχείρισης της παρουσίας και εξετάζει πώς οι ιδιότητές της μπορούν, μέσω της τέχνης και του σχεδιασμού, να μεταφερθούν σε μια κριτική προσέγγιση της πολιτικής διάστασης της ορατότητας. Η διερεύνηση αυτή καταλήγει στην ανάπτυξη του *Ceasefire!*, ενός εικαστικού-ερευνητικού φορετού πρωτοτύπου.

Αφετηρία της μελέτης αποτελεί η εξέταση των βιολογικών και βιοχημικών μηχανισμών της βιοφωταύγειας και των οικολογικών λειτουργιών της. Σε διαφορετικούς οργανισμούς, η παραγωγή φωτός συμμετέχει σε διαδικασίες άμυνας, επικοινωνίας, προσέλκυσης, αναπαραγωγής και καμουφλάζ, με αποτέλεσμα να μπορεί άλλοτε να καθιστά έναν οργανισμό περισσότερο ορατό και άλλοτε να συμβάλλει στην απόκρυψή του. Υπό αυτή την οπτική, το φως δεν αντιμετωπίζεται ως ουδέτερο οπτικό φαινόμενο, αλλά ως ενεργός παράγοντας που ρυθμίζει τη σχέση του οργανισμού με το περιβάλλον και με άλλους οργανισμούς.

Παράλληλα, εξετάζεται η αξιοποίηση της βιοφωταύγειας ως καλλιτεχνικό και σχεδιαστικό μέσου. Σε αντίθεση με μια συμβατική φωτεινή πηγή, το βιοφωταυγές φως αποτελεί μεταβολική και χρονικά εξαρτώμενη διεργασία, συνδεδεμένη με την κατάσταση του οργανισμού, την κίνηση, τον κύκλο φωτός και σκότους και τις συνθήκες διατήρησής του. Η χαμηλή ένταση, η μεταβλητότητα και η περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου του αποκτούν έτσι αισθητική και εννοιολογική σημασία, μετατοπίζοντας το ενδιαφέρον από την αποδοτικότητα του φωτισμού προς τις σχέσεις ανάμεσα στη ζωή, την ύλη, το σώμα και το περιβάλλον.

Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη μεταφορά του προβληματισμού στο κοινωνικοπολιτικό πεδίο και στους μηχανισμούς μέσω των οποίων ένα σώμα καθίσταται ορατό και αναγνώσιμο. Το τεχνητό φως, οι τεχνολογίες απεικόνισης και τα συστήματα ανίχνευσης δεν καθιστούν απλώς μια παρουσία αντιληπτή, αλλά μπορούν να τη μετατρέπουν σε πληροφορία διαθέσιμη για καταγραφή, ταξινόμηση και παρέμβαση. Δηλαδή σαν βιοπολιτική στρατηγική.

Στο θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας, η ορατότητα προσεγγίζεται, μέσω του Michel Foucault, ως τεχνολογία εξουσίας, ενώ η έννοια της βιοπολιτικής διευρύνει την προβληματική από το επίπεδο του ατομικού σώματος στη διαχείριση πληθυσμών, της κινητικότητας, της ασφάλειας και του κινδύνου. Οι προσεγγίσεις των Andrea Brighenti και Nicholas Mirzoeff συμβάλλουν περαιτέρω στην κατανόηση της ορατότητας ως πεδίου κοινωνικής αναγνώρισης, αναγνωσιμότητας και άσκησης εξουσίας.

Η προβληματική διευρύνεται μέσω της θεωρίας της νεκροπολιτικής του Achille Mbembe, η οποία εστιάζει στις άνισες συνθήκες έκθεσης στον κίνδυνο, εγκατάλειψης και πρόσβασης στην προστασία. Η ορατότητα αναδεικνύεται έτσι ως μια αμφίσημη συνθήκη, η οποία μπορεί να σχετίζεται τόσο με την αναγνώριση και τη διάσωση όσο και με την επιτήρηση, την ταξινόμηση και τον έλεγχο.

Το θεωρητικό αυτό πλαίσιο μεταφράζεται σε σχεδιαστική πρακτική μέσω του *Ceasefire!*, ενός φορετού πρωτοτύπου που αντλεί μορφολογικές αναφορές από τους ζωντανούς οργανισμούς. Η επιλογή του συγκεκριμένου αντικειμένου συνδέει το σώμα με ζητήματα

προστασίας, επιβίωσης, θαλάσσιας μετακίνησης και έκθεσης, χωρίς το έργο να προτείνεται ως λειτουργικό σωστικό μέσο. Ιδιότητες της βιοφωταύγειας, όπως η ασθενής φωτεινότητα, η παροδικότητα και η ενεργοποίηση μέσω κίνησης, μεταφέρονται στη σχεδιαστική διερεύνηση εναλλακτικών μορφών φωτεινής παρουσίας. Το σώμα που το φορά, προσεγγίζεται ως «φορητό τοπίο»: ένα δυναμικό πεδίο στο οποίο συναντώνται η βιολογική ζωή, η κίνηση, η μνήμη, η ευαλωτότητα και οι χωρικές και πολιτικές σχέσεις.

Η ανάπτυξη του πρωτοτύπου συνδυάζεται με πειραματική παρατήρηση βιοφωταυγών δινομαστιγωτών και με φωτογραφική και φωτομετρική καταγραφή της φωτεινής τους απόκρισης. Η χαμηλή ένταση του εκπεμπόμενου φωτός, η σύντομη διάρκεια της εκπομπής, η εξάρτησή της από μηχανική διέγερση και η δυσκολία σταθερής μέτρησης αντιμετωπίστηκαν ως ερευνητικά δεδομένα που ανατροφοδότησαν τη σχεδιαστική διαδικασία. Η τελική μακέτα δεν αποτελεί ολοκληρωμένη ενσωμάτωση ζωντανών οργανισμών, αλλά σχεδιαστική προσομοίωση επιλεγμένων ιδιοτήτων που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Η εργασία καταλήγει ότι η σημασία της βιοφωταύγειας για την τέχνη και τον σχεδιασμό δεν έγκειται πρωτίστως στη δυνατότητά της να υποκαταστήσει τις συμβατικές τεχνολογίες φωτισμού, αλλά στην ικανότητά της να αναδείξει το φως ως πεδίο διερεύνησης των σχέσεων ανάμεσα στη ζωή, το σώμα, το περιβάλλον και την εξουσία. Μέσα από το *Ceasefire!*, μια βιολογική στρατηγική που στη φύση ρυθμίζει την παρουσία των οργανισμών μετασχηματίζεται σε ερώτημα πολιτικής και κοινωνικής ορατότητας: **υπό ποιους όρους, με ποια μέσα και με ποιες συνέπειες καθίσταται ένα σώμα ορατό;**

#### Λέξεις κλειδιά :

Βιοφωταύγεια – Βιοτέχνη – Σύγχρονη Τέχνη – Πολιτική Ορατότητα - Σώμα

## Abstract

This thesis investigates bioluminescence as a biological strategy for managing presence and examines how its properties can be transferred, through art and design, into a critical exploration of the political dimension of visibility. This investigation culminates in the development of *Ceasefire!*, a speculative wearable artistic-research prototype.

The study begins with an examination of the biological and biochemical mechanisms of bioluminescence and its ecological functions. Across different organisms, light production participates in processes of defence, communication, attraction, reproduction, and camouflage, meaning that it may either increase an organism’s visibility or contribute to its concealment. From this perspective, light is not treated as a neutral visual phenomenon, but as an active factor regulating the relationship between an organism, its environment, and other organisms.

At the same time, the thesis examines bioluminescence as an artistic and design medium. Unlike a conventional light source, bioluminescent light is a metabolic and temporally dependent process, closely connected to the physiological state of the organism, movement, light–dark cycles, and the conditions required for its maintenance. Its low intensity, variability, and limited controllability thus acquire aesthetic and conceptual significance, shifting attention away from lighting efficiency and towards the relationships between life, matter, the body, and the environment.

This approach allows the discussion to move into the sociopolitical domain and towards the mechanisms through which a body becomes visible and legible. Artificial light, imaging technologies, and detection systems do not merely render a presence perceptible; they can also transform it into information available for recording, classification, and intervention. Within the theoretical framework of the thesis, visibility is approached, through Michel Foucault, as a technology of power, while the concept of biopolitics extends this discussion from the individual body to the management of populations, mobility, security, and risk. The perspectives of Andrea Brighenti and Nicholas Mirzoeff further contribute to an understanding of visibility as a field of social recognition, legibility, and the exercise of power.

This discussion is further expanded through Achille Mbembe’s theory of necropolitics, which focuses on unequal conditions of exposure to risk, abandonment, and access to protection. This dimension is examined in particular in the context of contemporary maritime borders, where the technical ability to detect a body does not necessarily lead to its political recognition or to the activation of mechanisms of protection. Visibility thus emerges as an ambiguous condition, associated not only with recognition and rescue, but also with surveillance, classification, and control.

This theoretical framework is translated into design practice through *Ceasefire!*, a wearable prototype that draws morphological references from the life jacket. The choice of this object connects the body to questions of protection, survival, maritime movement, and exposure,

without proposing the work as a functional life-saving device. Properties of bioluminescence, including low luminosity, transience, and activation through movement, are transferred into the design exploration of alternative forms of luminous presence. Within this framework, the body is approached as a “portable landscape”: a dynamic field in which biological life, movement, memory, vulnerability, and spatial and political relations intersect.

The development of the prototype is combined with the experimental observation of bioluminescent dinoflagellates and the photographic and photometric documentation of their luminous response. The low intensity of the emitted light, the short duration of emission, its dependence on mechanical stimulation, and the difficulty of obtaining stable measurements were treated as research data that informed the design process. The final model does not constitute a fully realised integration of living organisms, but rather a design simulation of selected properties observed during the experimental process.

The thesis concludes that the significance of bioluminescence for art and design lies not primarily in its potential to replace conventional lighting technologies, but in its capacity to position light as a field through which relationships between life, the body, the environment, and power can be investigated. Through *Ceasefire!*, a biological strategy that regulates the presence of organisms in nature is transformed into a question of political and social visibility: under what conditions, through what means, and with what consequences does a body become visible?

**Keywords :**

Bioluminescence, Bio Art, Contemporary Art, Lighting Design, Political Visibility, Body

#### Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου Β. Κορακίδου, για την καθοδήγηση και υποστήριξη της καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, την κα. Συμεωνίδου για τις χρήσιμες υποδείξεις της, τον κο. Ζερεφό για την ευγενική παραχώρηση εξοπλισμού και τον Ε. Καβαθά για την συνεισφορά του στην υλοποίηση του πρακτικού μέρους της εργασίας,

Τέλος, ευχαριστώ φίλους και συνεργάτες που συνέβαλαν με τις παρατηρήσεις, συζητήσεις και την ενθάρρυνση τους στην ολοκλήρωση της παρούσας ερευνητικής και καλλιτεχνικής προσπάθειας.

Χ.Π.  
Σεπτέμβριος 2026

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Περίληψη                                                                             | 4  |
| Abstract                                                                             | 5  |
| 1. Η Βιοφωταύγεια ως βιολογικό και καλλιτεχνικό μέσο                                 | 11 |
| 1.1 Το φως ως βιολογική στρατηγική                                                   | 11 |
| 1.1.1 Τι είναι η Βιοφωταύγεια                                                        | 11 |
| 1.1.2 Μοριακοί μηχανισμοί και βιοχημικές οδοί                                        | 13 |
| 1.1.3 Οικολογικές λειτουργίες και εξελικτικές απαρχές                                | 15 |
| 1.1.4 Πώς μελετάται η βιοφωταύγεια                                                   | 18 |
| 1.1.5 Τρέχοντα ερευνητικά μέτωπα και ανοιχτά ερωτήματα                               | 18 |
| 1.2 Η βιοφωταύγεια ως καλλιτεχνικό υλικό                                             | 21 |
| 1.2.1 Το ρεύμα της Bio Art                                                           | 21 |
| 1.2.2 Η βιοφωταύγεια ως εικαστικό μέσο                                               | 25 |
| 1.3 Η βιοφωταύγεια στον σχεδιασμό φωτισμού                                           | 31 |
| 1.4 Σχεδιαστικοί περιορισμοί και δυνατότητες                                         | 39 |
| 1.5 Ηθική, βιοασφάλεια και ευθύνη της ζωντανής ύλης                                  | 40 |
| 2. Φως, σώμα και πολιτικές ορατότητας                                                | 42 |
| 2.1 Φως, τόπος και περιβαλλοντική χρονικότητα                                        | 43 |
| 2.2 Το φως ως βιοπολιτική στρατηγική                                                 | 47 |
| 2.2.1 Εξουσία και καθεστώτα ορατότητας                                               | 47 |
| 2.2.2 Από την ορατότητα στην αδιαφάνεια: το δικαίωμα να μην είσαι πλήρως αναγνώσιμος | 49 |
| 2.2.3 Σύνορα και τεχνολογίες ορατότητας                                              | 50 |
| 2.2.4 Forensic aesthetics: ίχνος, περιβάλλον, μαρτυρία                               | 57 |
| 2.3 Από την κριτική στη σχεδιαστική διερεύνηση                                       | 60 |
| 3. Σχεδιασμός Πρωτότυπου Πειραματικού Έργου                                          | 62 |
| Ceasefire! — Βιοφωταυγές Φορετό Γιλέκο                                               | 62 |
| 3.1 Περιγραφή ιδέας, εννοιολογική σύλληψη και μεθοδολογία                            | 62 |
| 3.2 Το σώμα ως φορητό τοπίο: φως, σώμα, τόπος                                        | 65 |
| 3.3 Πειραματική μεθοδολογία                                                          | 67 |
| 3.3.1 Φωτομετρική και φωτογραφική καταγραφή της βιοφωταύγειας                        | 67 |
| 3.3.2 Ημερολόγιο φροντίδας καλλιέργειας βιοφωταυγούς άλγης                           | 68 |
| 3.3.3 Φωτογραφική τεκμηρίωση                                                         | 71 |
| 3.3.4 Περιορισμοί της διαδικασίας                                                    | 74 |
| 3.4 Σχεδιασμός Πρωτοτύπου                                                            | 75 |
| 3.4.1 Σχεδιαστική Μεθοδολογία                                                        | 75 |
| Συμπεράσματα                                                                         | 81 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ                                                              | 84 |
| ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ                                                                        | 95 |

## Εισαγωγή

### Α. Σκοπός και προσδοκώμενα αποτελέσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά τη βιοφωταύγεια ως βιολογικό φαινόμενο, καλλιτεχνικό υλικό και σχεδιαστικό μέσο, με στόχο να εξετάσει πώς οι ιδιότητές της μπορούν να υποστηρίξουν μια κριτική προσέγγιση της σχέσης ανάμεσα στο φως, τη ζωή και την πολιτική ορατότητα.

Αφετηρία της έρευνας αποτελεί η μελέτη των μηχανισμών παραγωγής βιολογικού φωτός και των οικολογικών λειτουργιών που αυτό επιτελεί. Η βιοφωταύγεια μπορεί, ανάλογα με τον οργανισμό και το περιβάλλον, να συμμετέχει στην άμυνα, στην επικοινωνία, στην προσέλκυση, στην αναπαραγωγή ή στο καμουφλάζ. Η φωτεινή εκπομπή δεν συνδέεται επομένως αποκλειστικά με την αποκάλυψη, αλλά μπορεί να επηρεάζει διαφορετικά τον τρόπο με τον οποίο ένας οργανισμός γίνεται αντιληπτός στο περιβάλλον του.

Η έρευνα εξετάζει στη συνέχεια τη βιοφωταύγεια ως μέσο καλλιτεχνικής και σχεδιαστικής διερεύνησης. Σε αντίθεση με μια συμβατική φωτεινή πηγή, το ζωντανό φως είναι χρονικά μεταβαλλόμενο, εξαρτάται από τη φυσιολογική κατάσταση του οργανισμού και από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες και δεν μπορεί να ελεγχθεί πλήρως. Οι ιδιότητες αυτές δεν αντιμετωπίζονται μόνο ως περιορισμοί, αλλά και ως στοιχεία που μπορούν να αποκτήσουν αισθητική και εννοιολογική σημασία.

Από το βιολογικό και καλλιτεχνικό πεδίο, η εργασία μεταβαίνει στη διερεύνηση της ανθρώπινης ορατότητας ως κοινωνικής, τεχνολογικής και πολιτικής συνθήκης. Η μετάβαση αυτή δεν ταυτίζει τη βιολογική λειτουργία της βιοφωταύγειας με τη βιοπολιτική ορατότητα. Χρησιμοποιεί όμως τις ιδιότητες του ζωντανού φωτός ως αφετηρία για την εξέταση των όρων υπό τους οποίους ένα ανθρώπινο σώμα καθίσταται ορατό, αναγνωρίσιμο ή αναγνώσιμο μέσα σε διαφορετικά συστήματα παρατήρησης και ελέγχου.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα σύγχρονα θαλάσσια σύνορα της Μεσογείου, όπου η τεχνική δυνατότητα εντοπισμού ενός σώματος ή ενός σκάφους δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη πολιτική αναγνώριση ή προστασία. Στο πλαίσιο αυτό, το σώμα προσεγγίζεται ως «φορητό τοπίο»: ως κινούμενος τόπος στον οποίο συναντώνται η μετακίνηση, η μνήμη, η ευαλωτότητα και η σχέση με το περιβάλλον.

Η θεωρητική διερεύνηση καταλήγει στην ανάπτυξη του *Ceasefire!*, ενός speculative φορετού εικαστικού-ερευνητικού πρωτοτύπου που αντλεί τη βασική του μορφολογία από το σωσίβιο γιλέκο. Το έργο δεν προτείνεται ως λειτουργικό σωστικό μέσο, αλλά ως σχεδιαστική υπόθεση γύρω από τη δυνατότητα μιας παροδικής φωτεινής παρουσίας. Η μορφή του φωτεινού θώρακα, η διαφανής «δεύτερη επιδερμίδα» και η σχέση της φωτεινής απόκρισης με την κίνηση μεταφέρουν στο ανθρώπινο σώμα ορισμένες από τις παρατηρούμενες ποιότητες της βιοφωταύγειας. Όταν το αντικείμενο φοριέται λειτουργεί ως σήμα παρουσίας, ενώ όταν αποσπάται από το σώμα και τοποθετείται στη θάλασσα μπορεί να λειτουργήσει ως φορέας μνήμης και ίχνος απουσίας.

Το κεντρικό ερευνητικό ερώτημα της εργασίας διατυπώνεται ως εξής:



**Με ποιους τρόπους μπορεί η βιοφωταύγεια να λειτουργήσει ως καλλιτεχνικό, σχεδιαστικό και κριτικό μέσο για τη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στο φως, τη ζωή και την πολιτική ορατότητα;**

Στο εφαρμοσμένο σκέλος, το ερώτημα εξειδικεύεται:

**Πώς μπορεί ένα speculative βιοφωταυγές φορετό αντικείμενο να διερευνήσει το σώμα ως «φορητό τοπίο» και να ενεργοποιήσει ζητήματα ευαλωτότητας, παρουσίας, μνήμης και ορατότητας στο πλαίσιο των σύγχρονων θαλάσσιων συνόρων;**

Το εφαρμοσμένο ερώτημα αποτελεί τη σχεδιαστική εξειδίκευση του κεντρικού ερωτήματος. Τα προσδοκώμενα αποτελέσματα της εργασίας είναι η αποσαφήνιση των καλλιτεχνικών και σχεδιαστικών δυνατοτήτων της βιοφωταύγειας, η αναγνώριση των βασικών περιορισμών της ως ζωντανού φωτεινού μέσου και η διερεύνηση της δυνατότητάς της να υποστηρίξει μια κριτική προσέγγιση της σχέσης ανάμεσα στο φως, το σώμα και την ορατότητα.

## **B. Μέθοδοι συλλογής δεδομένων και ακολουθούμενη μεθοδολογία**

Η εργασία ακολουθεί διεπιστημονική μεθοδολογική προσέγγιση που συνδυάζει βιβλιογραφική έρευνα, ανάλυση μελετών περίπτωσης, *research through design* και διερευνητική πειραματική παρατήρηση.

Η βιβλιογραφική έρευνα καλύπτει δύο βασικούς άξονες. Ο πρώτος αφορά τους βιολογικούς και βιοχημικούς μηχανισμούς της βιοφωταύγειας, τις οικολογικές λειτουργίες της και τις συνθήκες που επηρεάζουν τη φωτεινή της συμπεριφορά. Ο δεύτερος αφορά τη σχέση ανάμεσα στο φως, το σώμα, τον χώρο και την πολιτική ορατότητα, μέσα από θεωρητικά κείμενα και κριτικές προσεγγίσεις της επιτήρησης, της αναγνωσιμότητας, της κινητικότητας και της προστασίας.

Παράλληλα, αναλύονται επιλεγμένες καλλιτεχνικές και σχεδιαστικές πρακτικές. Η επιλογή τους βασίζεται σε τέσσερα κριτήρια: α) στη χρήση ζωντανών οργανισμών ή βιολογικών διεργασιών, β) στην αξιοποίηση του φωτός ή της απεικόνισης ως αισθητικού, χωρικού ή πληροφοριακού μέσου, γ) στη σχέση με το σώμα, την κινητικότητα ή το περιβάλλον και δ) στη δυνατότητά τους να συμβάλουν στην κριτική διερεύνηση της ορατότητας. Οι μελέτες περίπτωσης δεν συγκροτούν ιστορική καταγραφή των αντίστοιχων πεδίων, αλλά χρησιμοποιούνται συγκριτικά σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα.

Στο εφαρμοσμένο σκέλος ακολουθείται προσέγγιση *research through design*. Η ανάπτυξη του *Ceasefire!* χρησιμοποιείται ως μέσο έρευνας και περιλαμβάνει διαδοχικά σκίτσα, διερεύνηση της σχέσης της φορετής μορφής με το σώμα, δοκιμές υλικότητας, κατασκευή μακέτας και φωτογραφική τεκμηρίωση. Το critical και το speculative design λειτουργούν ως εννοιολογικά πλαίσια και όχι ως μεθοδολογία παραγωγής ενός άμεσα εφαρμόσιμου προϊόντος.

Συμπληρωματικά πραγματοποιήθηκε διερευνητική πειραματική παρατήρηση εμπορικής καλλιέργειας βιοφωταυγών δινομαστιγωτών σε ελεγχόμενες αλλά μη εργαστηριακές συνθήκες. Η διαδικασία επικεντρώθηκε στην παρατήρηση της φωτεινής απόκρισης, της

σχέσης της με τη μηχανική διέγερση και τον κύκλο φωτός και σκότους, καθώς και στη φωτογραφική και, όπου ήταν εφικτό, φωτομετρική καταγραφή της.

Η πειραματική διαδικασία δεν αποσκοπούσε στην παραγωγή γενικεύσιμων βιολογικών ή φωτομετρικών δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της συμπεριφοράς του συγκεκριμένου δείγματος και για την εξαγωγή ποιοτικών παραμέτρων σχετικών με τον σχεδιασμό, όπως η χαμηλή ένταση, η σύντομη διάρκεια, η μπλε απόχρωση, η σύνδεση της εκπομπής με την κίνηση και η δυσκολία σταθερής καταγραφής.

Τα αποτελέσματα αυτά ενσωματώθηκαν στη σχεδιαστική διαδικασία ως παρατηρούμενες ποιότητες και όχι ως τεχνικές προδιαγραφές. Η τελική μακέτα του *Ceasefire!* παρουσιάζεται, συνεπώς, ως σχεδιαστική προσομοίωση της επιδιωκόμενης φωτεινής συμπεριφοράς και όχι ως ολοκληρωμένο σύστημα ενσωμάτωσης ζωντανών οργανισμών.



Διάγραμμα 1. Χάρτης της έρευνας. Συσχέτιση βιοφωταύγειας- κοινωνικής ορατότητας-σχεδιαστική προσέγγιση Ceasefire!. Πηγή: Ιδία επεξεργασία.

## 1. Η Βιοφωταύγεια ως βιολογικό και καλλιτεχνικό μέσο

### 1.1 Το φως ως βιολογική στρατηγική

#### 1.1.1 Τι είναι η Βιοφωταύγεια

Η βιοφωταύγεια είναι η παραγωγή και εκπομπή ορατού φωτός από έναν ζωντανό οργανισμό μέσω χημικής αντίδρασης. Σε αντίθεση με τον φθορισμό, δεν απαιτεί εξωτερική φωτεινή πηγή για να ενεργοποιηθεί, καθώς η ενέργεια για την εκπομπή φωτός παράγεται από βιοχημικές διεργασίες μέσα στον ίδιο τον οργανισμό. Οι επιμέρους μηχανισμοί διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των οργανισμών, αλλά συνήθως περιλαμβάνουν την οξείδωση μιας φωτοεκπέμπουσας ουσίας, της λουσιφερίνης, με τη συμμετοχή ενζύμων ή φωτοπρωτεϊνών. Επειδή μόνο μικρό μέρος της ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα, η βιοφωταύγεια συχνά περιγράφεται ως «ψυχρό φως» (Widder, 2010; Schramm & Weiß, 2024).

Το φαινόμενο εμφανίζεται σε πολλές, εξελικτικά απομακρυσμένες ομάδες οργανισμών, από βακτήρια και μύκητες έως ασπόνδυλα και ψάρια, είναι όμως ιδιαίτερα διαδεδομένο στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η πρόσφατη καταγραφή των Duchatelet και Dupont περιλαμβάνει 1.718 γνωστά βιοφωταυγή είδη θαλάσσιων ευκαρυωτών (Duchatelet & Dupont, 2025). Αντίστοιχα, παρατηρήσεις περισσότερων από 350.000 οργανισμών στη θάλασσα στήλη ανοικτά της Καλιφόρνιας, από την επιφάνεια έως βάθος περίπου 3.900 m, έδειξαν ότι περίπου το 76% των παρατηρηθέντων ατόμων ανήκε σε taxa με ικανότητα βιοφωταύγειας (Martini & Haddock, 2017). Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι στα πελαγικά οικοσυστήματα η παραγωγή φωτός αποτελεί ιδιαίτερα διαδεδομένο βιολογικό χαρακτηριστικό.

Στα βακτήρια, η βιοφωταύγεια εμφανίζεται τόσο σε ελεύθερα θαλάσσια είδη όσο και σε συμβιωτικές σχέσεις με ζώα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το *Aliivibrio fischeri*, το οποίο εγκαθίσταται στο φωτεινό όργανο του καλαμαριού *Euprymna scolopes*. Το παραγόμενο φως χρησιμοποιείται από το καλαμάρι, μεταξύ άλλων, για αντιφωτισμό, μειώνοντας τη σκιά του όταν παρατηρείται από κάτω (Nyholm & McFall-Ngai, 2021).

Στην ξηρά, χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι βιοφωταυγείς μύκητες και τα φωταυγή σκαθάρια. Σήμερα είναι γνωστά περισσότερα από εκατό είδη βιοφωταυγών μυκήτων, όλα στην τάξη Agaricales, με ιδιαίτερα γνωστά παραδείγματα στα γένη *Mycena*, *Neonothopanus* και *Omphalotus*. Στα έντομα, η βιοφωταύγεια εμφανίζεται κυρίως σε διαφορετικές οικογένειες σκαθαριών, μεταξύ των οποίων οι πυγολαμπίδες, τα click beetles και τα railroad worms (He et al., 2024).

Η μεγαλύτερη ποικιλία συναντάται ωστόσο στη θάλασσα. Βιοφωταυγή είδη υπάρχουν μεταξύ άλλων σε κνιδόζωα, κτενοφόρα, οστρακόδερμα, μαλάκια, δακτυλιοσκόληκες, εχινόδερμα και ψάρια. Στα ακτινοπτερύγια ψάρια, η ικανότητα παραγωγής φωτός έχει εμφανιστεί ανεξάρτητα πολλές φορές κατά την εξέλιξη και μπορεί να προέρχεται είτε από τους ίδιους τους ιστούς του ζώου είτε από συμβιωτικά φωταυγή βακτήρια (Davis et al., 2016). Η μεγάλη αυτή ταξινομική διασπορά δείχνει ότι η βιοφωταύγεια δεν αποτελεί έναν ενιαίο βιολογικό μηχανισμό, αλλά ένα αποτέλεσμα στο οποίο διαφορετικοί οργανισμοί έχουν φτάσει μέσω διαφορετικών εξελικτικών και βιοχημικών διαδρομών.

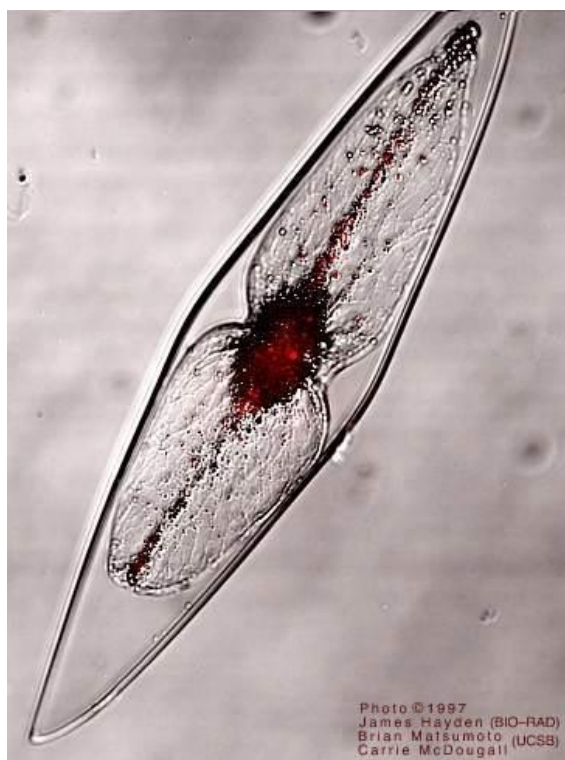


**Εικόνα 1.** Βιοφωταύγεια κατά μήκος της ακτογραμμής. Στιγμιότυπο από βίντεο του @awaratrip [Instagram Reel]. Instagram. <https://www.instagram.com/reel/DUdi6NljE7o/>



### 1.1.2 Μοριακοί μηχανισμοί και βιοχημικές οδοί

Παρότι το ορατό αποτέλεσμα είναι κοινό, η βιοφωταύγεια δεν βασίζεται σε έναν ενιαίο βιοχημικό μηχανισμό. Διαφορετικές ομάδες οργανισμών έχουν εξελίξει διαφορετικά συστήματα παραγωγής φωτός, με διαφορετικές λουσιφερίνες, ένζυμα και συμπαραγόντες. Σε γενικές γραμμές, το φως παράγεται όταν μια φωτοεκπέμπουσα ουσία οξειδώνεται και το προϊόν της αντίδρασης περνά προσωρινά σε διεγερμένη ενεργειακή κατάσταση. Κατά την επιστροφή του σε χαμηλότερη ενεργειακή κατάσταση απελευθερώνεται ενέργεια με τη μορφή φωτονίου. Οι όροι «λουσιφερίνη» και «λουσιφεράση» περιγράφουν επομένως τη λειτουργία των μορίων σε μια φωτεινή αντίδραση και όχι μία μοναδική χημική ουσία ή μία κοινή εξελικτική προέλευση (Fleiss & Sarkisyan, 2019).



**Εικόνα 2.** Bioluminescent dinoflagellates, Marine microorganisms producing light through luciferin–luciferase biochemical reactions, National Geographic / marine biology documentation

Στα βιοφωταυγή βακτήρια, η παραγωγή φωτός ελέγχεται από γονίδια του συστήματος *lux*. Η βακτηριακή λουσιφεράση, που κωδικοποιείται από τα *luxA* και *luxB*, χρησιμοποιεί μειωμένο φλαβινομονονουκλεοτίδιο (FMN<sub>H2</sub>), οξυγόνο και μια λιπαρή αλδεΐδη για την παραγωγή φωτός, το οποίο στα περισσότερα είδη εμφανίζεται στην μπλε-πράσινη περιοχή του φάσματος. Άλλα γονίδια του ίδιου συστήματος συμμετέχουν στην αναγέννηση των απαραίτητων υποστρωμάτων, επιτρέποντας σε ορισμένα βακτήρια να διατηρούν αυτόνομα τη φωτεινή αντίδραση όσο υπάρχουν οι κατάλληλες μεταβολικές συνθήκες (Brodli et al., 2018; Tian et al., 2022).

Διαφορετικός είναι ο μηχανισμός στα φωταυγή σκαθάρια, όπως οι πυγολαμπίδες. Εκεί, η D-λουσιφερίνη οξειδώνεται από τη λουσιφεράση παρουσία οξυγόνου, ATP και ιόντων μαγνησίου. Η αντίδραση παράγει συνήθως φως από πράσινο έως κιτρινοπορτοκαλί, ενώ το ακριβές φάσμα εκπομπής επηρεάζεται από τη δομή της λουσιφεράσης και από το χημικό μικροπεριβάλλον. Η εξάρτηση της αντίδρασης από το ATP έχει οδηγήσει στην ευρεία χρήση της λουσιφεράσης της πυγολαμπίδας ως εργαλείου στη βιολογική και βιοϊατρική έρευνα (Fleiss & Sarkisyan, 2019; Viviani et al., 2022).

Στο θαλάσσιο περιβάλλον, ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι η κοελεντεραζίνη, μια λουσιφερίνη που χρησιμοποιείται από διαφορετικούς και εξελικτικά απομακρυσμένους οργανισμούς. Μπορεί να λειτουργεί ως υπόστρωμα λουσιφερασών ή να βρίσκεται συνδεδεμένη σε φωτοπρωτεΐνες, όπως η aequorin, όπου η παρουσία ιόντων ασβεστίου προκαλεί την ταχεία εκπομπή φωτός. Η χρήση της ίδιας λουσιφερίνης από διαφορετικές ομάδες δεν σημαίνει ότι τα αντίστοιχα ένζυμα έχουν κοινή προέλευση, καθώς διαφορετικές πρωτεΐνες μπορούν να χρησιμοποιούν το ίδιο υπόστρωμα μέσω διαφορετικών μηχανισμών (Markova & Vysotski, 2015).

Ένα ακόμη αυτοδύναμο σύστημα έχει αναγνωριστεί στους βιοφωταυγείς μύκητες. Η βιοσύνθεση της μυκητιακής λουσιφερίνης συνδέεται με τον μεταβολισμό του καφεϊκού οξέος και ολοκληρώνεται μέσω ενός κύκλου ενζυμικών αντιδράσεων. Η αποσαφήνιση αυτού του μηχανισμού επέτρεψε τη μεταφορά των απαραίτητων γονιδίων σε άλλους ευκαρυωτικούς οργανισμούς και την ανάπτυξη φυτών και κυττάρων που παράγουν φως χωρίς συνεχή εξωτερική προσθήκη λουσιφερίνης (Kotlobay et al., 2018; Shakhova et al., 2024).

Ιδιαίτερη σημασία για την παρούσα εργασία έχει ο μηχανισμός των βιοφωταυγών δινωμαστιγμάτων. Σε γένη όπως τα *Pyrocystis*, *Lingulodinium* και *Noctiluca*, τα συστατικά της φωτεινής αντίδρασης οργανώνονται σε εξειδικευμένες κυτταρικές δομές που ονομάζονται *scintillons*. Η φωτεινή εκπομπή εμφανίζεται κυρίως κατά τη σκοτεινή φάση του ημερήσιου κύκλου και μπορεί να ενεργοποιηθεί από μηχανικά ερεθίσματα, όπως η ανατάραξη, η ροή και η παραμόρφωση της κυτταρικής μεμβράνης. Το μηχανικό ερέθισμα πυροδοτεί μια ακολουθία κυτταρικών σημάτων που οδηγεί σε μεταβολή του pH στα *scintillons* και στην ενεργοποίηση της φωτεινής αντίδρασης (Valiadi & Iglesias-Rodriguez, 2013; Perin et al., 2022).

Ο μηχανισμός αυτός εξακολουθεί να ερευνάται. Πρόσφατη μελέτη εντόπισε έναν υποψήφιο υποδοχέα συζευγμένο με G-πρωτεΐνη, τον Bioluminescence-Inducing Receptor 1 (BIR1), και έδειξε ότι συμμετέχει στη μετατροπή της μηχανικής διέγερσης σε κυτταρικό σήμα που οδηγεί στην παραγωγή φωτός (McFarland et al., 2025). Η σύνδεση της φωτεινής απόκρισης με την κίνηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρούσα έρευνα, καθώς καθιστά το φως των δινωμαστιγμάτων όχι μια σταθερή εκπομπή, αλλά μια παροδική απόκριση του ζωντανού οργανισμού στο περιβάλλον του.

### 1.1.3 Οικολογικές λειτουργίες και εξελικτικές απαρχές

Η βιοφωταύγεια επιτελεί διαφορετικές οικολογικές λειτουργίες, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την επιβίωση, την εύρεση τροφής και την επικοινωνία. Στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί

να χρησιμοποιείται για άμυνα απέναντι σε θηρευτές, προσέλκυση ή εντοπισμό λείας, καμουφλάζ, αναγνώριση μεταξύ ατόμων του ίδιου είδους και αναπαραγωγική επικοινωνία. Η ίδια ικανότητα παραγωγής φωτός μπορεί επομένως να αποκτά διαφορετική λειτουργία ανάλογα με τον οργανισμό, το περιβάλλον και τον τρόπο με τον οποίο το φωτεινό σήμα γίνεται αντιληπτό από άλλα είδη (Widder, 2010; Haddock et al., 2010).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο “αντι-φωτισμός” (*counterillumination*), κατά τον οποίο οργανισμοί που βρίσκονται στη στήλη του νερού εκπέμπουν φως από την κοιλιακή τους επιφάνεια ώστε να μειώνουν την αντίθεση της σιλουέτας τους απέναντι στο ασθενές φως που φτάνει από την επιφάνεια. Σε άλλες περιπτώσεις, η φωτεινή εκπομπή λειτουργεί αντίστροφα: αποκαλύπτει σκόπιμα την παρουσία του οργανισμού, προσελκύοντας λεία ή σύντροφο, ή παράγεται ως αιφνίδια απόκριση απέναντι σε έναν θηρευτή. Το φως δεν έχει επομένως μία σταθερή οικολογική σημασία· μπορεί άλλοτε να αποκρύπτει και άλλοτε να καθιστά έναν οργανισμό περισσότερο ορατό.

Η κυριαρχία του μπλε και του μπλε-πράσινου φωτός στα περισσότερα πελαγικά βιοφωταυγή συστήματα σχετίζεται και με τις οπτικές ιδιότητες του θαλάσσιου περιβάλλοντος, καθώς αυτά τα μήκη κύματος μεταδίδονται αποτελεσματικότερα μέσα στο νερό σε σχέση με μεγαλύτερα μήκη κύματος. Η φασματική περιοχή της εκπομπής συνδέεται επομένως τόσο με τη χημεία του εκάστοτε βιοφωταυγούς συστήματος όσο και με τις συνθήκες στις οποίες το φωτεινό σήμα πρέπει να μεταδοθεί και να γίνει αντιληπτό (Widder, 2010; Haddock et al., 2010).

Η εξελικτική ιστορία της βιοφωταύγειας είναι εξίσου πολυσύνθετη. Δεν φαίνεται να προέρχεται από έναν κοινό φωταυγή πρόγονο, αλλά έχει εμφανιστεί ανεξάρτητα σε πολλές διαφορετικές εξελικτικές γραμμές. Οι Lau και Oakley (2021), συνθέτοντας τις διαθέσιμες φυλογενετικές μελέτες, υπολόγισαν τουλάχιστον 94 ανεξάρτητες εξελικτικές απαρχές της βιοφωταύγειας σε ολόκληρο το δέντρο της ζωής. Πρόκειται επομένως για χαρακτηριστικό παράδειγμα συγκλίνουσας εξέλιξης: διαφορετικοί οργανισμοί έχουν φτάσει στο ίδιο λειτουργικό αποτέλεσμα —την παραγωγή ορατού φωτός— μέσω διαφορετικών ανατομικών, γενετικών και βιοχημικών μηχανισμών.

Η επαναλαμβανόμενη αυτή εξέλιξη γίνεται ιδιαίτερα εμφανής όταν εξετάζονται επιμέρους ομάδες. Στα ακτινοπερύγια ψάρια έχουν αναγνωριστεί τουλάχιστον 27 ανεξάρτητες εξελικτικές εμφανίσεις βιοφωταύγειας, που περιλαμβάνουν τόσο αυτόνομα φωτεινά συστήματα όσο και συμβιώσεις με φωταυγή βακτήρια (Davis et al., 2016). Αντίστοιχα, πρόσφατες γενωμικές μελέτες στα φωταυγή σκαθάρια υποστηρίζουν πολλαπλές παράλληλες εξελικτικές απαρχές της βιοφωταύγειας και διαφοροποίηση της λειτουργίας των λουσιφερασών (He et al., 2024).

Νεότερα φυλογενετικά δεδομένα δείχνουν παράλληλα ότι ορισμένα βιοφωταυγή συστήματα είναι εξαιρετικά αρχαία. Η ανακατασκευή της εξελικτικής ιστορίας των *Octocorallia* από τους DeLeo et al. (2024) υποστηρίζει ότι ο κοινός τους πρόγονος ήταν ήδη βιοφωταυγής περίπου 540 εκατομμύρια χρόνια πριν, κοντά στην αρχή του Καμβρίου. Η εκτίμηση αυτή αποτελεί μέχρι σήμερα την αρχαιότερη τεκμηριωμένη εμφάνιση βιοφωταύγειας σε ζωική εξελικτική γραμμή και δείχνει ότι η χρήση βιολογικά παραγόμενου φωτός έχει πολύ βαθύτερη εξελικτική ιστορία από όσο θεωρούνταν προηγουμένως.

Παρά τη μεγάλη πρόοδο των τελευταίων ετών, η εξελικτική προέλευση πολλών βιοφωταυγών συστημάτων παραμένει άγνωστη. Η διαφορετική χημεία, οι πολλαπλές



ανεξάρτητες εμφανίσεις και η ποικιλία των οικολογικών λειτουργιών δείχνουν ότι η βιοφωταύγεια δεν αποτελεί μία ενιαία προσαρμογή, αλλά ένα σύνολο διαφορετικών εξελικτικών λύσεων που χρησιμοποιούν το φως για να διαμορφώσουν τη σχέση ενός οργανισμού με το περιβάλλον και με άλλους οργανισμούς.



**Εικόνα 3.** Βιοφωταυγή ψάρια *Anomalops katoptron* (flashlight fish) στο σκοτάδι. Φωτογραφία: Martin Dohrn, Ammonite Productions. Από *Flashlight Fish in Captivity*, Reef2Reef, 2020.



**Εικόνα 4.** Μέδουσα (*Aequorea victoria*) σε διαδικασία βιοφωταύγειας, (Wikimedia Commons)

### 1.1.4 Πώς μελετάται η βιοφωταύγεια

Η μελέτη της βιοφωταύγειας συνδυάζει μεθόδους από τη χημεία, τη μοριακή βιολογία, τη γενετική και την οπτική. Σε βιοχημικό επίπεδο, η έρευνα επικεντρώνεται στην απομόνωση και ταυτοποίηση των μορίων που συμμετέχουν στην παραγωγή φωτός, καθώς και στη μελέτη της δομής και της λειτουργίας των αντίστοιχων ενζύμων και φωτοπρωτεϊνών. Τεχνικές χημικής και φασματοσκοπικής ανάλυσης, φασματομετρίας μάζας και δομικής βιολογίας έχουν επιτρέψει την ταυτοποίηση διαφορετικών λουσιφερινών και την αποσαφήνιση αρκετών βιοφωταυγών μηχανισμών (Schramm & Weiß, 2024).

Παράλληλα, οι γενετικές και μοριακές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των γονιδίων που σχετίζονται με τη βιοφωταύγεια και για τη διερεύνηση της εξελικτικής ιστορίας διαφορετικών φωταυγών συστημάτων. Στα δινομαστιγωτά, για παράδειγμα, η PCR και η ανάλυση του γονιδίου της λουσιφεράσης έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση βιοφωταυγών ειδών απευθείας σε δείγματα θαλασσινού νερού, συμπληρώνοντας την παραδοσιακή αναγνώριση μέσω μικροσκοπίας (Valiadi et al., 2014).

Εξίσου σημαντική είναι η μέτρηση του ίδιου του παραγόμενου φωτός. Ανάλογα με το ερευνητικό ερώτημα, μπορούν να καταγράφονται η ένταση και το φάσμα της εκπομπής, η διάρκεια μιας αναλαμπής, ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει στη μέγιστη ένταση και ο ρυθμός με τον οποίο εξασθενεί. Για την καταγραφή ασθενών φωτεινών σημάτων χρησιμοποιούνται φωτοπολλαπλασιαστές, ευαίσθητες κάμερες και φωτόμετρα, ενώ στο θαλάσσιο περιβάλλον ειδικά όργανα, όπως τα bathyphotometers, επιτρέπουν την καταγραφή μηχανικά προκαλούμενης βιοφωταύγειας *in situ*.

Η χρονική μορφή μιας φωτεινής αναλαμπής μπορεί επίσης να παρέχει πληροφορίες για τον οργανισμό που την παράγει. Μετρήσεις των χαρακτηριστικών της εκπομπής σε διαφορετικά είδη δινομαστιγωτών και ζωοπλαγκτού έχουν δείξει ότι παράμετροι όπως η μέγιστη ένταση, η διάρκεια, ο χρόνος ανόδου και η εξασθένηση παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις μεταξύ ειδών και μπορούν να συμβάλουν στην ανίχνευση και παρακολούθηση βιοφωταυγών οργανισμών στο φυσικό περιβάλλον (Letendre et al., 2024).

Οι διαφορετικές αυτές μέθοδοι εξετάζουν επομένως τη βιοφωταύγεια σε διαφορετικές κλίμακες: από τη χημική δομή και το γονίδιο έως το κύτταρο, τον οργανισμό και το οικοσύστημα. Παρά τη σημαντική πρόοδο των τελευταίων δεκαετιών, οι μηχανισμοί παραγωγής φωτός δεν έχουν ακόμη αποσαφηνιστεί σε όλες τις βιοφωταυγείς ομάδες, ενώ για πολλά είδη παραμένουν περιορισμένα τα δεδομένα σχετικά με τη φασματική και χρονική συμπεριφορά της εκπομπής τους.

### 1.1.5 Τρέχοντα ερευνητικά μέτωπα και ανοιχτά ερωτήματα

Παρά τη μακρά ιστορία της έρευνας γύρω από τη βιοφωταύγεια, το πεδίο εξακολουθεί να αναπτύσσεται γρήγορα. Οι σύγχρονες εφαρμογές δεν περιορίζονται πλέον στη μελέτη των φυσικών οργανισμών, αλλά περιλαμβάνουν τη συνθετική βιολογία, τα ζωντανά υλικά, τη

βιοϊατρική απεικόνιση και την ανάπτυξη βιολογικών αισθητήρων. Κοινός στόχος πολλών από αυτές τις έρευνες είναι η αξιοποίηση της φωτεινής εκπομπής όχι μόνο ως ορατού αποτελέσματος αλλά και ως μέσου μετάδοσης πληροφορίας.

**Ζωντανά και μηχανοευαίσθητα υλικά.** Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ενσωμάτωση βιοφωταυγών δινομαστιγωτών σε μαλακά τεχνητά υλικά. Οι Li et al. (2022) εγκλώβισαν κύτταρα *Pyrocystis lunula* σε ελαστομερείς θαλάμους, δημιουργώντας εύκαμπτες κατασκευές που φωτίζουν όταν παραμορφώνονται, συμπιέζονται ή δέχονται ροή και άλλες μηχανικές διεγέρσεις. Η φωτεινή απόκριση εμφανίζεται σχεδόν ακαριαία και δεν απαιτεί ηλεκτρική τροφοδοσία για την ίδια την παραγωγή του φωτός. Τα πρωτότυπα χρησιμοποιήθηκαν για την οπτικοποίηση μηχανικών φορτίσεων, την οπτική σηματοδότηση και πειράματα soft robotics.

Η έρευνα αυτή εξελίχθηκε περαιτέρω με την ενσωμάτωση δινομαστιγωτών απευθείας σε υδρογέλες. Οι Li et al. (2023) δημιούργησαν τρισδιάστατα εκτυπώσιμα ζωντανά σύνθετα υλικά που διατηρούσαν τη μηχανοευαίσθητη φωτεινή τους απόκριση για χρονικό διάστημα έως περίπου πέντε μηνών υπό ορισμένες συνθήκες. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η βιοφωταύγεια μπορεί να ενσωματωθεί σε υλικά στα οποία η μηχανική μεταβολή γίνεται άμεσα ορατή ως φωτεινό ίχνος, ανοίγοντας δυνατότητες για αισθητήρες, διαδραστικές επιφάνειες και βιοϋβριδικά συστήματα (Li et al., 2022; Li et al., 2023).

**Αυτόφωτα φυτά και βιολογικοί αισθητήρες.** Ένα δεύτερο σημαντικό πεδίο αφορά τη μεταφορά ολοκληρωμένων βιοφωταυγών μηχανισμών σε φυτά. Η ανασύσταση του μυκητιακού βιοφωταυγούς κύκλου επέτρεψε την ανάπτυξη φυτών που παράγουν συνεχές ορατό φως χωρίς να απαιτείται εξωτερική προσθήκη λουσιφερίνης (Mitouchkina et al., 2020). Παράλληλα, τα ίδια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιολογικοί reporters, ώστε μεταβολές στη γονιδιακή δραστηριότητα ή στη φυσιολογική κατάσταση του φυτού να μεταφράζονται σε μεταβολές της φωτεινής εκπομπής (Khakhar et al., 2020).

Η κατεύθυνση αυτή απέκτησε ιδιαίτερο ενδιαφέρον το 2026, όταν οι Calvache et al. ανέπτυξαν βιοφωταυγή «sentinel plants» για την ανίχνευση ιογενών λοιμώξεων. Στο σύστημα αυτό, η παρουσία συγκεκριμένων ιών προκαλεί μεταβολή στο φάσμα του εκπεμπόμενου φωτός, δημιουργώντας ένα οπτικό σήμα που μπορεί να καταγραφεί ακόμη και με σχετικά απλό φωτογραφικό εξοπλισμό. Το φυτό λειτουργεί επομένως όχι ως πηγή φωτισμού αλλά ως ζωντανός αισθητήρας που μεταφράζει μία βιολογική κατάσταση σε ορατή πληροφορία (Calvache et al., 2026).

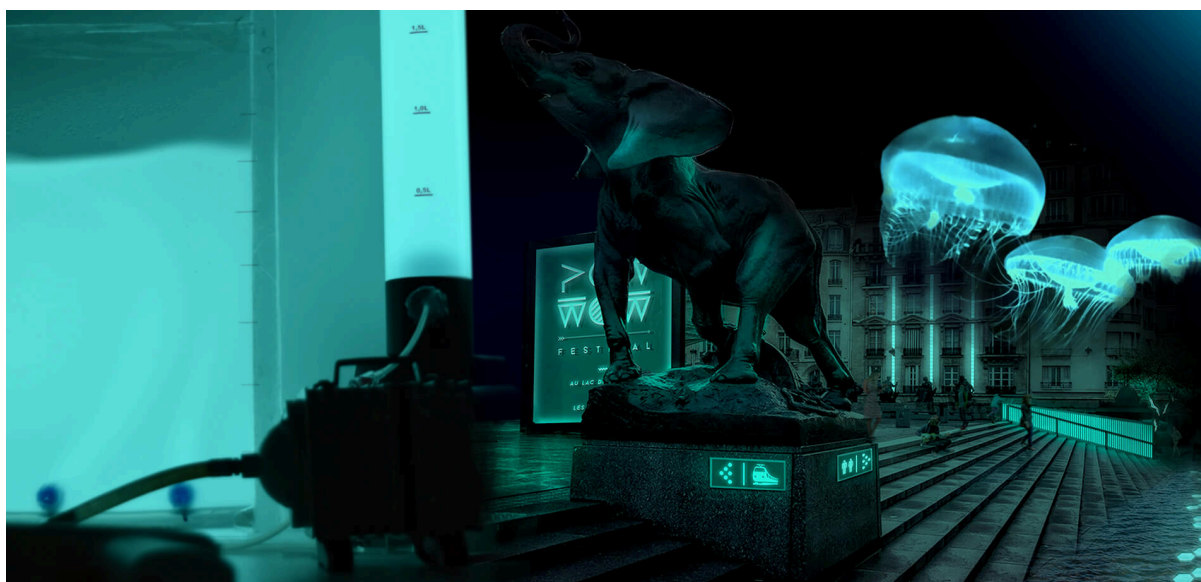
**Αυτόνομη βιοφωταύγεια και βιοϊατρική απεικόνιση.** Στη βιοϊατρική και τη μοριακή βιολογία, η βιοφωταύγεια χρησιμοποιείται ήδη εκτεταμένα για την παρακολούθηση κυττάρων, γονιδιακής έκφρασης, λοιμώξεων και άλλων βιολογικών διεργασιών. Ένα σημαντικό ερευνητικό μέτωπο αφορά τη δημιουργία συστημάτων που δεν χρειάζονται επαναλαμβανόμενη εξωτερική χορήγηση λουσιφερίνης και μπορούν να παράγουν το σύνολο των απαραίτητων μορίων μέσα στο ίδιο το κύτταρο. Πρόσφατη βελτιστοποίηση του μυκητιακού βιοφωταυγούς μονοπατιού αύξησε τη φωτεινότητα κατά μία έως δύο τάξεις μεγέθους σε φυτικά, μυκητιακά και ζωικά κύτταρα, επιτρέποντας συνεχή απεικόνιση βιολογικών διεργασιών σε πραγματικό χρόνο (Shakhova et al., 2024).

**Βιοφωταύγεια και σχεδιασμός χαμηλού φωτισμού.** Η δυνατότητα παραγωγής φωτός χωρίς άμεση ηλεκτρική διέγερση έχει δημιουργήσει ενδιαφέρον και για εφαρμογές στον σχεδιασμό και στο δομημένο περιβάλλον. Ωστόσο, οι σημερινές βιοφωταυγείς τεχνολογίες δεν μπορούν

να συγκριθούν με τις συμβατικές πηγές φωτισμού ως προς τη φωτεινή ροή, τη σταθερότητα, τον έλεγχο και την προβλεψιμότητα. Για τον λόγο αυτό, περισσότερο ρεαλιστικές εφαρμογές εντοπίζονται προς το παρόν σε περιβάλλοντα χαμηλού φωτισμού, σε διαδραστικές ή αισθητηριακές επιφάνειες, σε προσωρινές εγκαταστάσεις και σε συστήματα όπου το φως λειτουργεί ως σήμα και όχι ως κύρια πηγή φωτισμού (Mitiochkina et al., 2020; Li et al., 2022).

Η βιοφωταύγεια δεν πρέπει επίσης να αντιμετωπίζεται ως νέα πρωτογενής πηγή ενέργειας. Η εκπομπή φωτός προϋποθέτει χημική ενέργεια, η οποία στους ζωντανούς οργανισμούς προέρχεται τελικά από τον μεταβολισμό ή τη φωτοσύνθεση. Η σημασία της βρίσκεται επομένως περισσότερο στην παραγωγή φωτεινών σημάτων πολύ χαμηλής ισχύος χωρίς άμεση ηλεκτρική διέγερση παρά στην παραγωγή αξιοποιήσιμης ηλεκτρικής ενέργειας (Syed & Anderson, 2021).

Παρά τις σημαντικές εξελίξεις, παραμένουν βασικοί περιορισμοί. Η χαμηλή φωτεινότητα, οι κirkάδιοι και μεταβολικοί κύκλοι, η ανάγκη διατήρησης κατάλληλων συνθηκών ζωής, η περιορισμένη διάρκεια λειτουργίας ορισμένων συστημάτων και η δυσκολία μεγάλης κλίμακας εφαρμογής εξακολουθούν να εμποδίζουν την ευρεία χρήση της βιοφωταύγειας ως φωτιστικής τεχνολογίας. Στα engineered living systems προστίθενται ζητήματα βιοασφάλειας, περιορισμού της βιολογικής διασποράς και μακροχρόνιας σταθερότητας. Τα ερωτήματα αυτά δείχνουν ότι η βιοφωταύγεια έχει ίσως μεγαλύτερο ενδιαφέρον σήμερα ως δυναμικό σύστημα αίσθησης, πληροφορίας και αλληλεπίδρασης παρά ως άμεσο υποκατάστατο μιας συμβατικής φωτεινής πηγής.



**Εικόνα 5.** Glowee: εφαρμογές βιοφωταύγειας στον αστικό χώρο. Βιοφωταυγές σύστημα φωτισμού βασισμένο σε ζωντανούς μικροοργανισμούς και ενδεικτικές εφαρμογές του σε στοιχεία αστικού εξοπλισμού και φωτισμού. Glowee / WiSEED.



## 1.2 Η βιοφωταύγεια ως καλλιτεχνικό υλικό

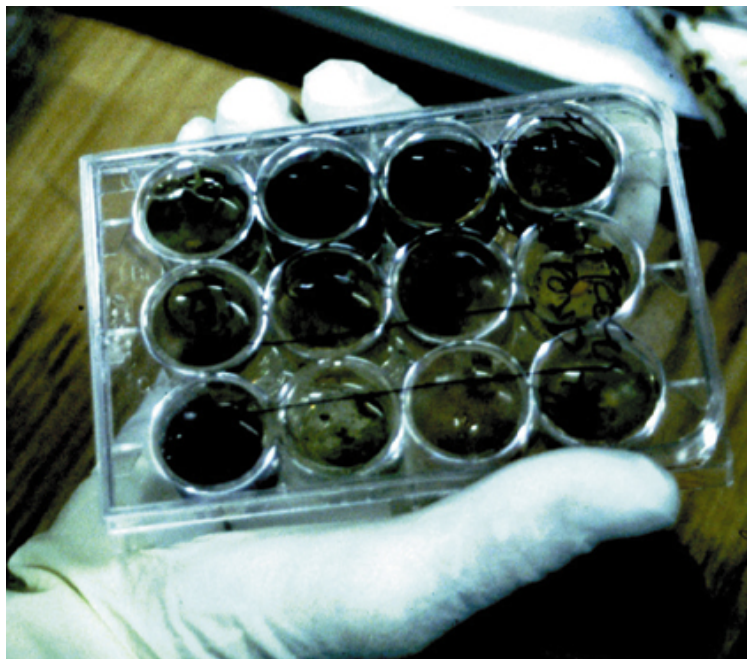
Έχοντας ήδη εξεταστεί η βιοφωταύγεια ως βιολογικό φαινόμενο, το ενδιαφέρον μετατοπίζεται εδώ στον τρόπο με τον οποίο η ζωντανή ύλη και, ειδικότερα, η παραγωγή φωτός από ζωντανούς οργανισμούς εισέρχονται στο πεδίο της σύγχρονης τέχνης. Για να γίνει σαφής η θέση της βιοφωταύγειας μέσα σε αυτό το πεδίο, είναι απαραίτητο να διακριθούν δύο συγγενείς αλλά όχι ταυτόσημες κατηγορίες. Η πρώτη είναι η **Bio Art**, στην οποία βιολογικοί οργανισμοί, κύτταρα, ιστοί, πρωτεΐνες, DNA ή βιοτεχνολογικές διαδικασίες αποτελούν υλικό ή μηχανισμό του έργου. Η δεύτερη, περισσότερο ειδική, είναι η **βιοφωταυγής τέχνη**, όπου το ίδιο το φως που παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς αποκτά κεντρικό αισθητικό, χωρικό ή εννοιολογικό ρόλο.

Η Bio Art δεν χαρακτηρίζεται απλώς από την αναπαράσταση της βιολογίας. Το κρίσιμο στοιχείο είναι η χρήση βιολογικών μεθόδων και ζωντανών συστημάτων ως μέσων καλλιτεχνικής παραγωγής. Οι Yetisen et al. (2015) περιγράφουν το πεδίο ως πρακτική στην οποία εργαλεία και μέθοδοι των βιοεπιστημών προσαρμόζονται για τη δημιουργία έργων που εξετάζουν τη ζωή, τη βιοτεχνολογία και τις κοινωνικές, ηθικές και περιβαλλοντικές συνέπειές τους. Η μετάβαση αυτή μεταβάλλει και την οντολογία του έργου: ένα ζωντανό έργο αναπτύσσεται, μεταβάλλεται, εξαρτάται από περιβαλλοντικές συνθήκες και μπορεί τελικά να πεθάνει. Παράλληλα, η χρήση ζωής ως καλλιτεχνικού μέσου εισάγει ζητήματα φροντίδας, ευθύνης και εργαλειοποίησης τα οποία δεν υφίστανται με τον ίδιο τρόπο όταν το υλικό είναι αδρανές (Vaage, 2016; Yetisen et al., 2015).

### 1.2.1 Το ρεύμα της Bio Art

Ένα από τα πρώτα έργα που σηματοδοτούν τη μετατόπιση από την αναπαράσταση της ζωής προς τη χρήση της ίδιας της βιολογίας ως καλλιτεχνικού μέσου είναι το *Microvenus* του Joe Davis. Το έργο αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1980 και βασίστηκε στην κωδικοποίηση ενός μικρού οπτικού συμβόλου σε συνθετική αλληλουχία DNA, η οποία ενσωματώθηκε σε ζωντανά βακτήρια. Η πληροφορία δεν αναπαριστούσε απλώς το DNA· ήταν κυριολεκτικά γραμμένη μέσα σε αυτό. Το MIT χαρακτηρίζει το *Microvenus* ως το πρώτο γενετικά τροποποιημένο έργο τέχνης, ενώ η σχετική βιβλιογραφία για την αποθήκευση πληροφορίας σε DNA αναγνωρίζει το έργο ως μία από τις πρώιμες εφαρμογές κωδικοποίησης εξωβιολογικής πληροφορίας σε γενετικό υλικό (MIT ACT, 2023).

Η σημασία του *Microvenus* για την ιστορία της Bio Art βρίσκεται ακριβώς σε αυτή την αντιστροφή: το DNA παύει να αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως φορέας βιολογικής κληρονομικότητας και μετατρέπεται σε πολιτισμικό μέσο εγγραφής. Το έργο προαναγγέλλει έτσι ερωτήματα που θα απασχολήσουν έντονα τη Bio Art τις επόμενες δεκαετίες: εάν η ζωή μπορεί να γραφτεί, να επανασχεδιαστεί και να προγραμματιστεί, ποια είναι τα όρια ανάμεσα στη βιολογική πληροφορία και στην πολιτισμική πληροφορία; Και σε ποιο βαθμό η βιοτεχνολογία μπορεί να λειτουργεί όχι μόνο ως επιστημονικό εργαλείο αλλά και ως μορφή γλώσσας;



**Εικόνα 6.** Εργαστηριακή διαδικασία στο πλαίσιο του έργου *Microvenus* του Joe Davis. Το *Microvenus* αποτελεί έργο βιοτέχνης στο οποίο ένα οπτικό σύμβολο κωδικοποιήθηκε σε συνθετικό μόριο DNA. Πηγή: *Genetics and Culture*.

Στο *Genesis* (1999), ο Eduardo Kac μεταφέρει αυτή τη σχέση μεταξύ γλώσσας και βιολογίας σε ένα περισσότερο σύνθετο και συμμετοχικό επίπεδο. Ο Kac επέλεξε μια βιβλική φράση που αναφέρεται στην ανθρώπινη κυριαρχία επάνω στα άλλα έμβια όντα, τη μετέτρεψε αρχικά σε κώδικα Morse και στη συνέχεια σε αλληλουχία DNA, δημιουργώντας αυτό που ονόμασε «artist's gene». Το συνθετικό γονίδιο ενσωματώθηκε σε βακτήρια τα οποία παρουσιάστηκαν ζωντανά στον εκθεσιακό χώρο (Kac, 1999).

Η εγκατάσταση δεν σταματούσε όμως στη δημιουργία του γενετικού κειμένου. Οι χρήστες του διαδικτύου μπορούσαν να ενεργοποιήσουν υπεριώδες φως στον χώρο της έκθεσης, προκαλώντας πραγματικές μεταλλάξεις στα βακτήρια. Μετά την ολοκλήρωση της έκθεσης, η μεταλλαγμένη αλληλουχία μεταφράστηκε ξανά από DNA σε Morse και από Morse σε αγγλικό κείμενο. Έτσι η αρχική φράση είχε μεταβληθεί από τη βιολογική διαδικασία που είχε υποστεί. Το *Genesis* μετατρέπει επομένως μια θέση περί ανθρώπινης κυριαρχίας πάνω στη φύση σε ένα σύστημα όπου ο άνθρωπος, η τεχνολογία και ο μικροοργανισμός μεταβάλλουν από κοινού το μήνυμα. Το έργο δεν εικονογραφεί απλώς μια βιοηθική διαμάχη αλλά τη μετατρέπει σε πραγματική βιολογική διαδικασία (Kac, 1999).

Το *GFP Bunny* (2000) αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά και αμφιλεγόμενα έργα της Bio Art. Ο Kac συνέδεσε το έργο με τη δημιουργία της Alba, ενός κουνελιού που έφερε το γονίδιο της πράσινης φθορίζουσας πρωτεΐνης, καθώς και με τον δημόσιο διάλογο που προέκυψε γύρω από αυτήν και με την πρόθεσή του να εντάξει το ζώο σε ένα κοινωνικό και οικογενειακό περιβάλλον. Ο ίδιος ο Kac θεωρούσε ότι το έργο δεν εξαντλείται στη γενετική επέμβαση, αλλά περιλαμβάνει τη σχέση φροντίδας, την κοινωνική ένταξη και την πολιτισμική συζήτηση που δημιουργήθηκε γύρω από το ζωντανό ον (Kac, 2003).



Εικόνα 7. Kac, E. (2000), Γενετικά τροποποιημένος οργανισμός, Φωτογραφία Eduardo Kac Official Website

Είναι, ωστόσο, απαραίτητο να γίνει εδώ μία ορολογική διάκριση που συχνά χάνεται στη δημόσια παρουσίαση του έργου. Η Alba **δεν ήταν βιοφωταυγής**. Η GFP, δηλαδή η Green Fluorescent Protein, είναι φθορίζουσα πρωτεΐνη και απαιτεί εξωτερική διέγερση συγκεκριμένου μήκους κύματος για να εκπέμψει ορατό φως. Η βιοφωταύγεια, αντίθετα, παράγει φως μέσω βιοχημικής αντίδρασης χωρίς να απαιτεί προηγούμενο εξωτερικό φωτισμό. Επομένως το *GFP Bunny* είναι θεμελιώδες παράδειγμα Bio Art, αλλά δεν αποτελεί παράδειγμα βιοφωταυγούς τέχνης. Αυτή η διάκριση είναι σημαντική για να διατηρηθούν σαφή τα όρια του παρόντος κεφαλαίου.

Στο *Nature?*, η Marta de Menezes ακολουθεί μια διαφορετική κατεύθυνση, αποφεύγοντας τη γενετική τροποποίηση. Η καλλιτέχνης παρενέβη στην ανάπτυξη των φτερών ζωντανών πεταλούδων ώστε να προκύψουν νέα οπτικά μοτίβα. Η παρέμβαση δεν περιλάμβανε τεχνητές χρωστικές ούτε αλλαγή του γονιδιώματος· τα νέα μοτίβα σχηματίζονταν από τα ίδια τα κύτταρα της πεταλούδας κατά την ανάπτυξη του φτερού. Επειδή οι γενετικές αλληλουχίες παρέμεναν αμετάβλητες, οι μορφολογικές αλλαγές δεν κληρονομούνταν από την επόμενη γενιά (de Menezes, n.d.).

Το έργο θέτει έτσι σε αμφισβήτηση την απλή αντιπαράθεση ανάμεσα στο «φυσικό» και το «τεχνητό». Το αποτέλεσμα είναι βιολογικά φυσικό ως προς το υλικό του, αλλά δεν θα είχε υπάρξει χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Ταυτόχρονα, η διάρκεια του έργου συμπίπτει κυριολεκτικά με τη διάρκεια ζωής της πεταλούδας. Όπως σημειώνει η ίδια η de Menezes, τα έργα «ζουν και πεθαίνουν», καθιστώντας τη θνητότητα όχι απλώς θέμα αλλά υλικό χαρακτηριστικό της καλλιτεχνικής μορφής. Το *Nature?* είναι επομένως κρίσιμο για την κατανόηση της Bio Art ως τέχνης της διαδικασίας και της προσωρινότητας και όχι ως παραγωγής μόνιμων αντικειμένων (de Menezes, n.d.).





**Εικόνα 8.** *Nature?* (2000), Marta de Menezes. Παρέμβαση στο αναπτυξιακό μοτίβο των φτερών ζωντανής πεταλούδας, χωρίς γενετική τροποποίηση. Φωτογραφία ευγενική παραχώρηση της καλλιτέχνης. Πηγή: *CLOT Magazine*.

Στο *Proteic Portrait*, η de Menezes μεταφέρει το ζήτημα της ταυτότητας από την εξωτερική μορφή στο μοριακό επίπεδο. Το έργο επιχειρεί τη δημιουργία ενός αυτοπορτρέτου μέσω μιας συνθετικής πρωτεΐνης, της «mArta protein», της οποίας η αλληλουχία αμινοξέων έχει σχεδιαστεί ώστε, μέσω των μονογράμμάτων επιστημονικών συμβόλων των αμινοξέων, να αποδίδει το όνομα της καλλιτέχνης. Η ανάπτυξη του έργου πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με επιστήμονες στο εργαστήριο της Yvonne Jones στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης (de Menezes, n.d.). Το πορτρέτο εδώ δεν είναι οπτική ομοιότητα. Η ταυτότητα μεταφράζεται σε μια υποθετική μοριακή δομή, θέτοντας υπό αμφισβήτηση την παραδοσιακή ιδέα ότι το πορτρέτο πρέπει να αναπαριστά την εξωτερική εμφάνιση ενός σώματος. Ταυτόχρονα, το έργο σχολιάζει την αυξανόμενη τάση των σύγχρονων βιοεπιστημών να περιγράφουν το άτομο μέσα από γενετικά και μοριακά δεδομένα. Το σώμα μπορεί πλέον να «διαβάζεται» ως πληροφορία, ενώ η καλλιτέχνης αντιστρέφει τη διαδικασία και χρησιμοποιεί την πληροφορία για να κατασκευάσει μια νέα μορφή σώματος.

Το *Victimless Leather* (2004), των Oron Catts και Ionat Zurr στο πλαίσιο του Tissue Culture & Art Project, μεταφέρει το επίκεντρο από το DNA και την πρωτεΐνη στην καλλιέργεια ιστών. Πρόκειται για ένα μικροσκοπικό, χωρίς ραφές αντικείμενο που παραπέμπει σε σακάκι και αναπτύσσεται από αθάνατες κυτταρικές σειρές πάνω σε βιοδιασπώμενη πολυμερή μήτρα. Το σύστημα διατηρείται μέσα σε ειδικά σχεδιασμένο θάλαμο αιμάτωσης, ο οποίος τροφοδοτεί τα κύτταρα με θρεπτικό μέσο (Catts & Zurr, 2004).

Παρά τον τίτλο του, το έργο δεν προτείνεται ως πραγματική λύση για «ηθικό δέρμα». Αντίθετα, οι δημιουργοί χρησιμοποιούν την υπόσχεση ενός «victimless» προϊόντος για να αποκαλύψουν πόσο σύνθετη είναι στην πραγματικότητα η σχέση μας με τη ζωντανή ύλη και τη βιοτεχνολογία. Η καλλιέργεια ενός «ημιζώντος» αντικειμένου απαιτεί υποδομές, θρεπτικά μέσα, ενέργεια και διαρκή φροντίδα και δημιουργεί νέες μορφές εξάρτησης και ευθύνης. (Catts & Zurr, 2004; Vaage, 2016).

### 1.2.2 Η βιοφωταύγεια ως εικαστικό μέσο

Η βιοφωταυγής τέχνη αποτελεί ειδικότερη περιοχή μέσα στο ευρύτερο πεδίο της τέχνης που χρησιμοποιεί ζωντανά συστήματα. Η βιοφωταύγεια είναι η παραγωγή ορατού φωτός μέσω χημικών αντιδράσεων μέσα σε έναν οργανισμό και έχει εξελιχθεί ανεξάρτητα σε πολλά θαλάσσια και χερσαία είδη. Στα θαλάσσια οικοσυστήματα χρησιμοποιείται για λειτουργίες όπως η άμυνα, η θήρευση και η αναπαραγωγή, ενώ στα βιοφωταυγή βακτήρια η φωτεινή εκπομπή σχετίζεται με το σύστημα *lux* και, σε ορισμένα είδη, με τη ρύθμιση της πληθυσμιακής πυκνότητας μέσω quorum sensing (Haddock et al., 2010; Meighen, 1991).

Για την τέχνη, το ιδιαίτερο ενδιαφέρον βρίσκεται στο γεγονός ότι το φως δεν είναι εξωτερικά εφαρμοσμένο στο έργο. Αποτελεί μεταβολική ή φυσιολογική λειτουργία του ζωντανού υλικού. Συνεπώς, η ένταση, η διάρκεια και η παρουσία του δεν ελέγχονται απόλυτα όπως συμβαίνει σε ένα ηλεκτρικό φωτιστικό. Η καλλιέργεια μεγαλώνει, μεταβολίζεται, αντιδρά σε μηχανικά ή περιβαλλοντικά ερεθίσματα και τελικά μεταβάλλεται ή πεθαίνει. Αυτές ακριβώς οι ιδιότητες έχουν αποτελέσει το κέντρο μιας σειράς έργων στα οποία το ζωντανό φως χρησιμοποιείται ως εικόνα, performance, φωτογραφική ύλη, περιβάλλον ή μέσο επικοινωνίας.

Το *Bioglyphs* ξεκίνησε το 2002 ως συνεργασία μεταξύ του Center for Biofilm Engineering και του School of Art του Montana State University. Καλλιτέχνες, επιστήμονες και φοιτητές χρησιμοποίησαν θαλάσσια βιοφωταυγή βακτήρια ως τρίτο «συνεργάτη» για τη δημιουργία ζωγραφικών συνθέσεων πάνω σε τρυβλία Petri. Οι συμμετέχοντες ζωγράφιζαν με υγρό μέσο εμβολιασμένο με βακτήρια, το οποίο αρχικά ήταν ουσιαστικά αόρατο. Καθώς οι μικροοργανισμοί πολλαπλασιάζονταν, άρχιζαν να παράγουν φως περίπου μέσα σε μία ημέρα. Στη σκοτεινή αίθουσα της έκθεσης η μοναδική πηγή φωτός ήταν οι ίδιες οι βακτηριακές καλλιέργειες (Montana State University Center for Biofilm Engineering, 2002).

Το έργο μετασχηματίζει την έννοια της ζωγραφικής. Η εικόνα δεν ολοκληρώνεται τη στιγμή που απομακρύνεται το χέρι του δημιουργού από την επιφάνεια, αλλά συνεχίζει να παράγεται από τη βακτηριακή δραστηριότητα. Κατά τη διάρκεια της πενήντης έκθεσης, η φωτεινότητα μεταβαλλόταν καθώς αυξανόταν ο πληθυσμός και καταναλώνονταν τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά. Η χρονικότητα του έργου είναι επομένως βιολογική και όχι απλώς εκθεσιακή. Το *Bioglyphs* αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο η βιοφωταύγεια μετατρέπει ένα εικαστικό έργο από στατική εικόνα σε προσωρινό οικοσύστημα (Montana State University Center for Biofilm Engineering, 2002).

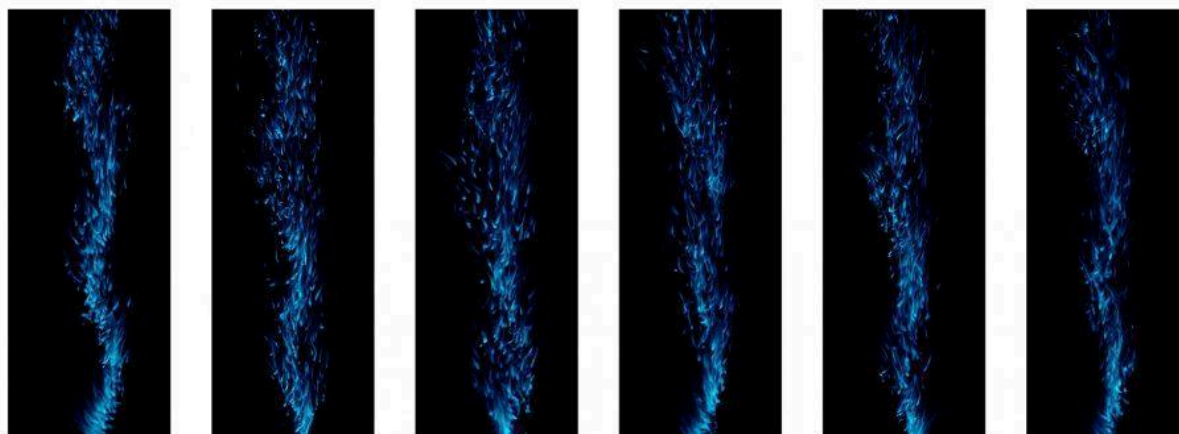
Στη σειρά *Living Drawings*, η Hunter Cole χρησιμοποιεί επίσης βιοφωταυγή βακτήρια για τη δημιουργία ελεγχόμενων γραμμικών σχεδίων επάνω σε τρυβλία Petri. Τα σχέδια είναι αρχικά έντονα φωτεινά, αλλά στη συνέχεια φωτογραφίζονται σε διαφορετικά στάδια καθώς οι καλλιέργειες καταναλώνουν τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά και σταδιακά πεθαίνουν. Η Cole περιγράφει τα βακτήρια ως συνεργάτες, καθώς το τελικό αποτέλεσμα δεν μπορεί να προβλεφθεί πλήρως από την αρχική σχεδιαστική χειρονομία (Cole, 2005–2017).



Εικόνα 9 Cole, H. (2005-2017). *Living Light*, σχέδια από **βιοφωταυγή βακτήρια** τα οποία καλλιεργούνται,μεγαλώνουν και παράγουν φυσικό φως

Αυτό γίνεται ιδιαίτερα σαφές όταν διαφορετικά τμήματα μιας εικόνας εξασθενούν με διαφορετικούς ρυθμούς, μεταβάλλοντας αναπάντεχα την αναγνωσιμότητά της. Στο ευρύτερο σύνολο *Living Light*, η Cole χρησιμοποιεί επίσης το βιολογικά παραγόμενο φως για τη φωτογράφιση ανθρώπινων σωμάτων και πορτρέτων. Το έργο της μεταφέρει έτσι τη βιοφωταύγεια από αντικείμενο φωτογράφισης σε πραγματική φωτεινή πηγή, χωρίς όμως να τη μετατρέπει σε λειτουργικό φωτιστικό. Το ζητούμενο παραμένει καλλιτεχνικό: η σχέση ανάμεσα στο φως, στη ζωή, στη φθορά και στη θνητότητα (Cole, 2005–2017).

Η Erika Blumenfeld προσέγγισε τη βιοφωταύγεια μέσα από μακρόχρονη συνεργασία με τον θαλάσσιο βιολόγο Michael Latz στο Scripps Institution of Oceanography. Στη σειρά *Bioluminescence* του 2011 χρησιμοποίησε το δινομαστιγωτό *Pyrocystis fusiformis*, δημιουργώντας μεγάλες φωτογραφικές εκτυπώσεις και κινούμενες εικόνες από τη φωτεινή απόκριση των μικροοργανισμών. Στα έργα *Living Light* και *Moving Light: Bioluminescence*, η μηχανική δόνηση του θαλασσινού νερού ενεργοποιεί τις λάμπεις των μεμονωμένων οργανισμών, οι οποίες καταγράφονται ως φωτεινές κουκίδες και ίχνη (Blumenfeld, 2011).



**Εικόνα 10** Blumenfeld, E. (2017). *Bioluminescence*, Μεγάλης κλίμακας φωτογραφικό υλικό κατά την συνεργασία με τον βιολόγο M. Latz.

Η Blumenfeld δεν επιχειρεί να κατασκευάσει μια φωτεινή συσκευή. Η βιοφωταύγεια χρησιμοποιείται ως μέσο παρατήρησης ενός φαινομένου σε κλίμακα που διαφορετικά παραμένει δύσκολα προσβάσιμη. Ταυτόχρονα, η συνεργασία της με τη θαλάσσια βιολογία συνδέει την αισθητική εμπειρία του φωτός με την οικολογική ευαισθησία των μικροοργανισμών. Η εικόνα λειτουργεί επομένως ως μεγεθυντικός μηχανισμός μιας αλληλεπίδρασης ανάμεσα στη μηχανική δύναμη, στη ζωντανή ύλη και στο θαλάσσιο περιβάλλον.

Στο *Toccata for Pyrocystis Fusiformis* (2014), ο Andreas Greiner, σε συνεργασία με τη Sunlay Almeida Rodriguez, συνδέει τη βιοφωταύγεια με τον ήχο και την performance. Το έργο αποτελείται από πιάνο, σκοτεινό χώρο, θαλασσινό νερό και καλλιέργειες *Pyrocystis fusiformis*. Η κίνηση και οι δονήσεις που δημιουργούνται κατά τη μουσική εκτέλεση διαταράσσουν το υγρό περιβάλλον των μικροοργανισμών, προκαλώντας τη χαρακτηριστική μπλε βιοφωταυγή απόκρισή τους (Greiner, 2014).

Το ενδιαφέρον εδώ δεν βρίσκεται στην παραγωγή σταθερού φωτισμού, αλλά στη μετατροπή ενός ακουστικού και μηχανικού γεγονότος σε στιγμιαίο οπτικό συμβάν. Το φως γίνεται ένα είδος βιολογικής «παρτιτούρας» της κίνησης: δεν ακολουθεί ηλεκτρονικά προγραμματισμένο συγχρονισμό, αλλά την απόκριση ενός ζωντανού πληθυσμού στις δονήσεις. Για τον λόγο αυτό το *Toccata* ανήκει σαφώς στην περιοχή της εγκατάστασης και της performance και όχι στον σχεδιασμό φωτιστικού προϊόντος. Η αξία του βρίσκεται ακριβώς στη δημιουργία μιας προσωρινής σχέσης ανάμεσα σε μουσικό, όργανο, νερό και μικροοργανισμό.





**Εικόνα 11.** *Toccata for Pyrocystis Fusiformis* (2014), Andreas Greiner, σε συνεργασία με τη Sunlay Almeida Rodriguez. Εγκατάσταση/performance με πιάνο, θαλασσινό νερό και βιοφωταυγείς μικροοργανισμούς *Pyrocystis fusiformis*, οι οποίοι εκπέμπουν μπλε φως ως απόκριση στις δονήσεις και την κίνηση του νερού. Andreas Greiner, *Toccata for Pyrocystis Fusiformis*.

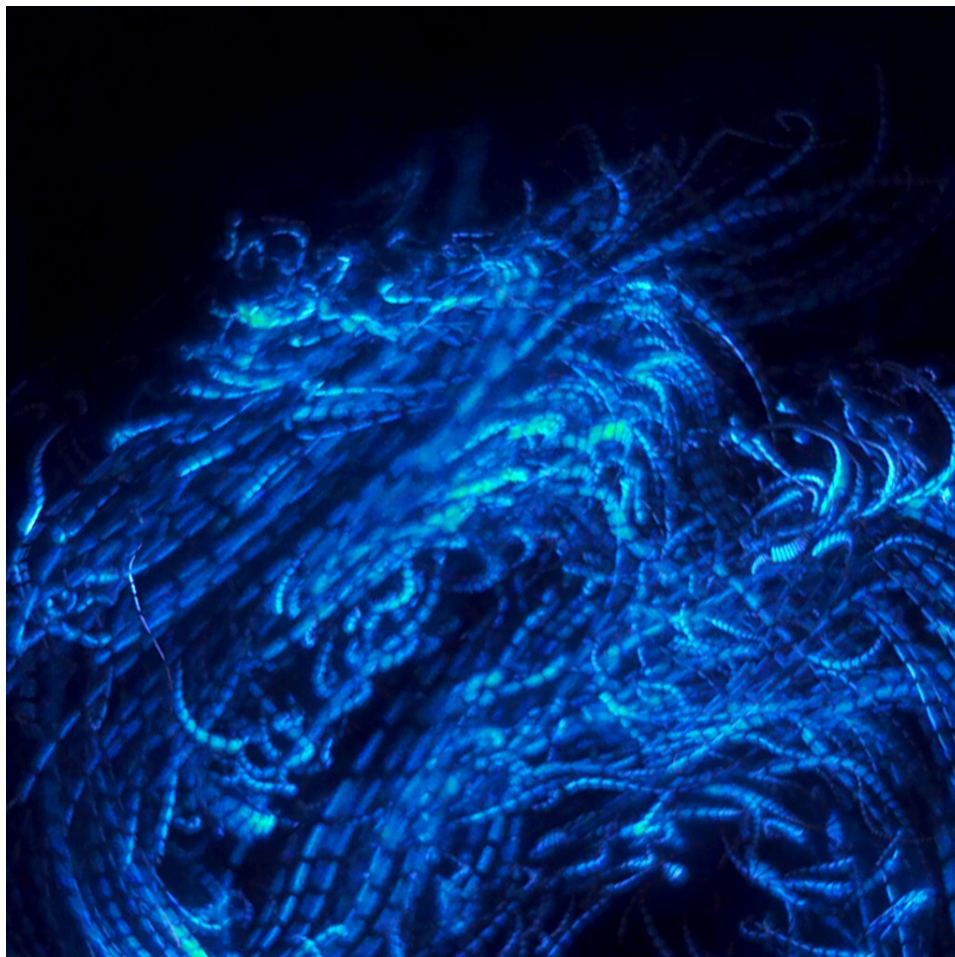
Το *Infinity Cube* δημιουργήθηκε μέσα από τη συνεργασία της καλλιτέχνιδας Iyone Khoo με τον Michael Latz και παρουσιάστηκε στο Birch Aquarium του Scripps Institution of Oceanography από το 2017 έως το 2018. Σε αντίθεση με αρκετά από τα προηγούμενα έργα, το ίδιο το εκθεσιακό cube δεν αποτελούσε δεξαμενή ζωντανών μικροοργανισμών. Ήταν ένα εμβυθιστικό περιβάλλον από ανακλαστικές επιφάνειες, video projections και ήχο, βασισμένο σε υλικό βιοφωταύγειας που είχε δημιουργηθεί μέσα από τη συνεργασία της Khoo με το εργαστήριο του Latz (Latz, 2019).

Η διάκριση αυτή είναι σημαντική: το *Infinity Cube* αποτελεί έργο για και με τη βιοφωταύγεια, αλλά η βιολογική καλλιέργεια δεν λειτουργεί ως ζωντανή φωτιστική υποδομή μέσα στον ίδιο τον εκθεσιακό χώρο. Το φαινόμενο μετατρέπεται σε κλίμακα περιβάλλοντος μέσω προβολής, αντανάκλασης και ήχου. Έτσι το έργο διερευνά κυρίως την αντιληπτική και επικοινωνιακή δύναμη της βιοφωταύγειας και τη δυνατότητα μιας συνεργασίας τέχνης-επιστήμης να κάνει ένα δύσκολα παρατηρήσιμο θαλάσσιο φαινόμενο προσβάσιμο σε ευρύτερο κοινό (Latz, 2019).

Η έκθεση *Tides of Light* της Yoko Shimizu παρουσιάστηκε στο BioBAT Art Space της Νέας Υόρκης το 2023 και επικεντρώθηκε στη μελέτη βιοφωταυγών θαλάσσιων δινομαστιγωτών. Η Shimizu χρησιμοποιεί τα μικροφύκη όχι ως παθητικό υλικό αλλά ως «συνεργάτες» μιας διαδικασίας συν-δημιουργίας. Το σύνολο περιλάμβανε βίντεο, εκτυπώσεις, εργαλεία



αλληλεπίδρασης και έργα όπως το *Stars in the Ocean*, όπου φωτεινά ίχνη των οργανισμών μετατρέπονται σε μορφή γραφής (Shimizu, 2023).

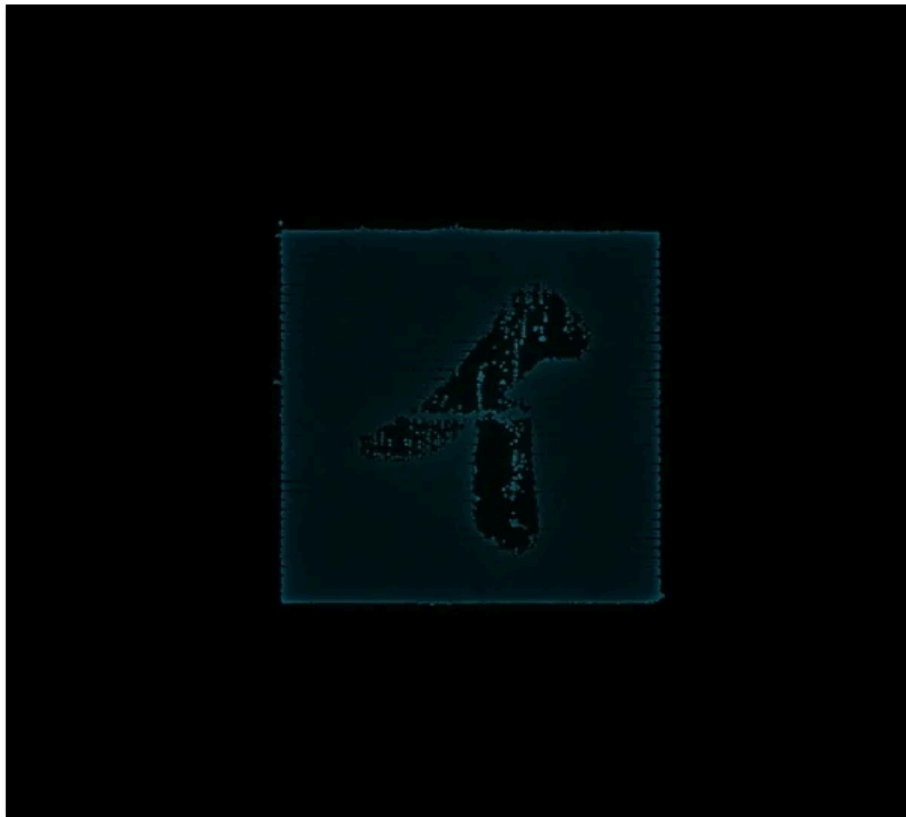


**Εικόνα 12.** *Tides of Light: Meadows of the Abyss* (2026), Yoko Shimizu. Οπτική διερεύνηση της βιοφωταύγειας του θαλάσσιου πλαγκτού, όπου οι φωτεινές εκπομπές των μικροοργανισμών μετατρέπονται σε ίχνη και μοτίβα που παραπέμπουν στις αόρατες διεργασίες των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. *As Above, So Below*, 61η Μπιενάλε της Βενετίας / Collateral, 2026.

Στο έργο της Shimizu η βιοφωταύγεια λειτουργεί ως διεπαφή ανάμεσα σε ανθρώπινη και μη ανθρώπινη αντίληψη. Η χημική και μηχανική επικοινωνία των οργανισμών κανονικά συμβαίνει έξω από το ανθρώπινο αισθητηριακό πεδίο, αλλά η παραγωγή φωτός καθιστά μέρος αυτής της συμπεριφοράς ορατό. Με αυτό τον τρόπο η εγκατάσταση μετακινεί τη συζήτηση από τον άνθρωπο ως αποκλειστικό δημιουργό προς τη δυνατότητα μιας τέχνης στην οποία η μη ανθρώπινη ζωή διαθέτει ενεργό ρόλο στη διαμόρφωση του αποτελέσματος. Η Shimizu συνδέει αυτή τη σχέση με ζητήματα οικοσυστήματος, επικοινωνίας και κλιματικής αλλαγής (Shimizu, 2023).

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα σύγχρονη κατεύθυνση εμφανίζεται στα έργα των Takumi Saeki, Nobuhiro Masuda και Kazuhiro Jo, τα οποία συνδέουν βιοφωταυγή βακτήρια με τεχνολογίες

ψηφιακής μεταξοτυπίας. Στο *A Medium for Images or Luminous Bacteria* (2022), τα βακτήρια χρησιμοποιούνται ως ζωντανό φωτεινό μελάνι για την εκτύπωση ιαπωνικού κειμένου. Στο *‘I(I)’ (1926) by BioLuminescent Bacteria* (2024), οι δημιουργοί ανακατασκευάζουν με βακτήρια την ιστορική εικόνα του χαρακτήρα «I», που συνδέεται με τα πρώτα πειράματα ιαπωνικής τηλεόρασης. Στη σχετική δημοσίευση οι ίδιοι εντάσσουν τα έργα τους στην προβληματική της επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπινων και μη ανθρώπινων παραγόντων (Saeki et al., 2024).



**Εικόνα 13.** *I(I) (1926) by BioLuminescent Bacteria*, μετά από 40 ώρες ανάπτυξης. Το έργο αξιοποιεί βιοφωταυγή βακτήρια ως ζωντανό μέσο εκτύπωσης και φωτεινής απεικόνισης. Saeki, T., Masuda, N., & Jo, K. (2024), *The (im)possibility of communication with nonhuman beings: With digital screen printing of luminous bacteria*.

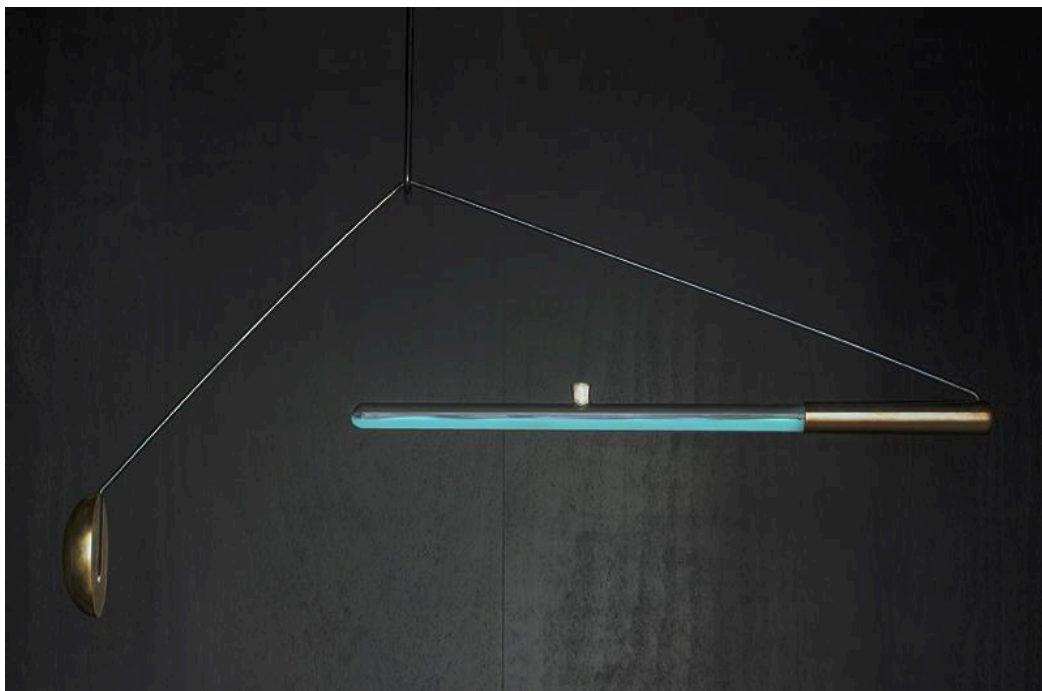
Το ουσιαστικό χαρακτηριστικό αυτών των έργων είναι ότι η εκτύπωση δεν παραμένει σταθερή. Το βακτηριακό «μελάνι» ζει επάνω στο θρεπτικό υπόστρωμα, αναπτύσσεται και αλλάζει μορφή, με αποτέλεσμα τα όρια της τυπογραφίας και της εικόνας να παραμορφώνονται σταδιακά. Η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα —βασικές αξίες της εκτυπωτικής και ψηφιακής τεχνολογίας— αντιπαρατίθενται έτσι στην απροσδιοριστία της ζωντανής ύλης. Η βιοφωταύγεια δεν αποτελεί διακοσμητική προσθήκη αλλά τον μηχανισμό μέσω του οποίου η εικόνα γίνεται ορατή και, ταυτόχρονα, τον μηχανισμό που τελικά διαλύει την αρχική της σταθερότητα (Saeki et al., 2024).

Τα παραπάνω παραδείγματα δείχνουν ότι η βιοφωταυγής τέχνη δεν αποτελεί ενιαίο είδος. Μπορεί να λειτουργεί ως ζωντανή ζωγραφική στο *Bioglyphs* και στα *Living Drawings*, ως φωτογραφική ύλη στην Blumenfeld, ως performance στον Greiner, ως immersive representation στο *Infinity Cube*, ως οικολογική συν-δημιουργία στη Shimizu ή ως κριτική της επικοινωνίας και της αναπαραγωγής στους Saeki, Masuda και Jo. Κοινός παρονομαστής είναι ότι η αξία του φωτός δεν μετριέται πρωτίστως από τη χρηστική του ικανότητα να φωτίσει έναν χώρο. Η σημασία του βρίσκεται στην ιδιότητά του ως ζωντανού, χρονικού και μεταβλητού γεγονότος.

### 1.3 Η βιοφωταύγεια στον σχεδιασμό φωτισμού

Η μετάβαση από τη βιοφωταυγή τέχνη στον βιοφωταυγή σχεδιασμό απαιτεί μια σαφή αλλαγή κριτηρίων. Στην τέχνη το κεντρικό ερώτημα μπορεί να είναι τι σημαίνει το ζωντανό φως, πώς μετασχηματίζει την εικόνα ή πώς καθιστά αισθητή μια μη ανθρώπινη διαδικασία. Στον σχεδιασμό, αντιθέτως, τίθενται επιπλέον ερωτήματα: πώς συγκρατείται ο οργανισμός, πώς ενεργοποιείται, πώς διατηρείται ζωντανός, ποια είναι η σχέση του με τον χρήστη, τι μορφή πρέπει να έχει το αντικείμενο ή η επιφάνεια και ποια φωτιστική λειτουργία μπορεί πραγματικά να εξυπηρετήσει.

Το *Ambio* της Teresa van Dongen αποτελεί ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της μετάβασης. Το έργο δημιουργήθηκε ως graduation project στο Design Academy Eindhoven και αποτελείται από έναν γυάλινο σωλήνα με υγρό μέσο που περιέχει βιοφωταυγή βακτήρια. Ο σωλήνας εντάσσεται σε ένα ισορροπημένο μηχανικό σύστημα· όταν ο χρήστης δώσει μια απαλή ώθηση, το αντικείμενο κινείται και η κίνηση διατηρεί τα βακτήρια οξυγονωμένα, προκαλώντας τη μπλε φωτεινή τους απόκριση (van Dongen, 2014).



**Εικόνα 14.** *Ambio*, Van Dongen, T. (2014), *Βιοφωταυγής λάμπα με βακτήρια*, Teresa van Dongen Official Website

Το *Ambio* βρίσκεται σαφώς πιο κοντά στον σχεδιασμό φωτιστικού αντικειμένου από τα έργα του προηγούμενου κεφαλαίου, επειδή η μορφή του έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει συγκεκριμένη σχέση χρήστη–οργανισμού–φωτός. Ο χρήστης δεν πατά απλώς έναν διακόπτη· θέτει το σώμα σε κίνηση και με αυτή την κίνηση δημιουργεί τις συνθήκες για την εκπομπή φωτός. Παράλληλα, η ανάγκη διατήρησης της καλλιέργειας υπονομεύει την αντίληψη του φωτιστικού ως παθητικού, μόνιμου καταναλωτικού προϊόντος. Το *Ambio* προτείνει ένα διαφορετικό μοντέλο χρήσης, στο οποίο η λειτουργία εξαρτάται από τη φροντίδα ενός ζωντανού συστήματος.

Στο *Living Light Interfaces: An Exploration of Bioluminescence Aesthetics*, οι Bahareh Barati, Elvin Karana, Sylvia Pont και Tim van Dortmont μεταφέρουν το ενδιαφέρον από το προϊόν στη διεπαφή. Η έρευνα εξετάζει πώς οι ιδιότητες του βιοφωταυγούς φωτός μπορούν να αξιοποιηθούν σε διαδραστικά συστήματα, αντί να θεωρούνται αποκλειστικά προβλήματα που πρέπει να εξαλειφθούν. Οι ερευνητές πειραματίζονται με διαφορετικές μορφές μηχανικού ερεθισμού, όπως περιστροφή, δόνηση και παλμική κίνηση, εξετάζοντας τις διαφορετικές φωτεινές εκφράσεις που παράγουν οι μικροοργανισμοί (Barati et al., 2021).

Αυτό οδηγεί σε μια διαφορετική αντίληψη του interface. Το φως δεν ενεργοποιείται μέσω μιας αφηρημένης ηλεκτρικής εντολής, αλλά μέσω φυσικής αλληλεπίδρασης με το ζωντανό υλικό. Η καθυστέρηση, η μεταβλητότητα, η μικρή διάρκεια και η οργανική μορφή των αναλαμπών μπορούν να λειτουργήσουν ως στοιχεία της εμπειρίας αντί να θεωρούνται μόνο τεχνικές ατέλειες. Οι Barati et al. (2021) χρησιμοποιούν έτσι τη βιοφωταύγεια για να διερευνήσουν μια μορφή **living aesthetics**, όπου η συμπεριφορά του υλικού είναι ενεργό μέρος της διεπαφής και όχι απλό οπτικό output.

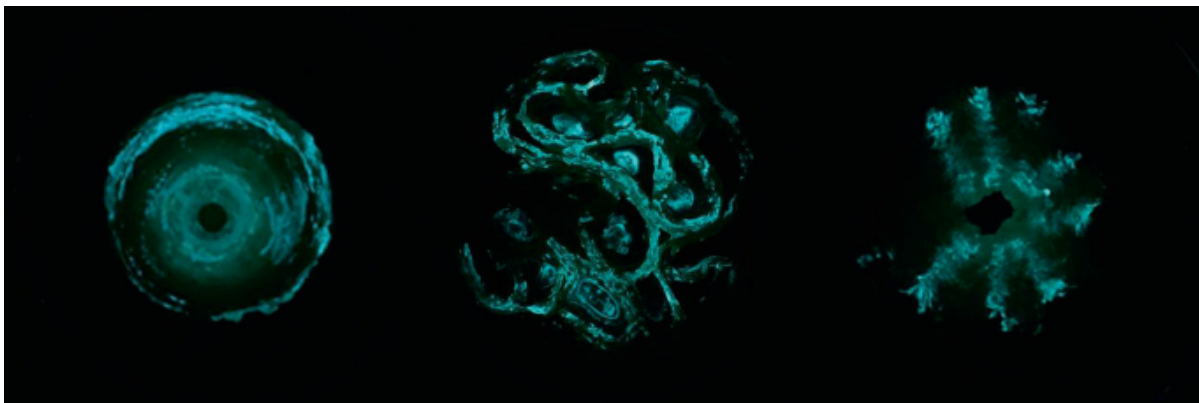


**Εικόνα 15.** Εκπομπή βιοφωταύγειας από μικροφύκη ως απόκριση σε μηχανική διέγερση. Η κίνηση του υγρού μέσου προκαλεί την εκπομπή χαρακτηριστικού γαλαζοπράσινου φωτός από τους βιοφωταυγείς μικροοργανισμούς. Πηγή: Barati et al. (2021), *Living Light Interfaces: An Exploration of Bioluminescence Aesthetics*.

Το ερευνητικό πρόγραμμα *Imprimer La Lumière* μεταφέρει το ζήτημα από το αντικείμενο και το interface στη σχεδιασμένη υλικότητα. Οι Mette Ramsgaard Thomsen, Martin Tamke, Aurélie Mossé και συνεργάτες διερεύνησαν την ενσωμάτωση του βιοφωταυγούς βακτηρίου *Vibrio fischeri* σε τρισδιάστατα εκτυπωμένες μικροαρχιτεκτονικές. Το σύστημα βασίζεται σε ρομποτικά ελεγχόμενη εξώθηση ειδικά διαμορφωμένου θρεπτικού μέσου με βάση το agar, έτσι ώστε η ίδια η εκτυπωμένη γεωμετρία να λειτουργεί ως υπόστρωμα για τη βακτηριακή ανάπτυξη (Thomsen et al., 2022; Mossé et al., 2023).

Το ιδιαίτερα ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι η μορφή δεν αντιμετωπίζεται ως ουδέτερο κέλυφος που περιέχει βιοφωταυγές υλικό. Το ύψος, το πάχος και η γεωμετρία της εκτυπωμένης δομής επηρεάζουν την ανάπτυξη των βακτηρίων και συνεπώς τη χρονική και φωτεινή συμπεριφορά της κατασκευής. Ο σχεδιασμός γίνεται έτσι σχεδιασμός οικοσυστήματος: η τοπολογία της δομής επηρεάζει τον μεταβολισμό και την ορατότητα της φωτεινής εκπομπής. Το *Imprimer La Lumière* αποτελεί σημαντικό precedent για αρχιτεκτονική και σχεδιασμό υλικών, επειδή μετατρέπει τη βιοφωταύγεια από «περιεχόμενο ενός δοχείου» σε πραγματική **living materiality** (Mossé et al., 2023).

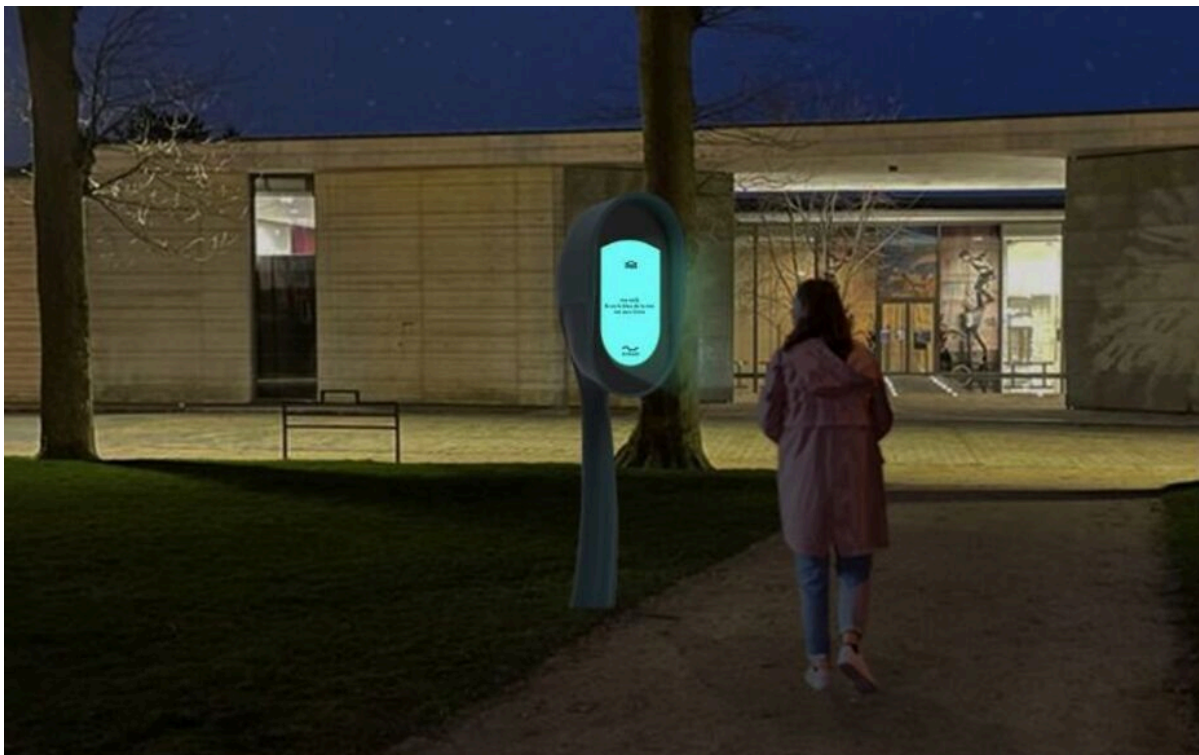




**Εικόνα 16.** Καλλιέργειες του βιοφωταυγούς βακτηρίου *Vibrio fischeri* σε θρεπτικό διάλυμα, σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης μετά την αρχική ενεργοποίηση. Thomsen et al. (2022), *Imprimer La Lumiere – 3D Printing Bioluminescence for Architectural Materiality*, Springer

Η γαλλική Glowee αποτελεί ίσως την πιο συστηματική προσπάθεια μεταφοράς της βακτηριακής βιοφωταύγειας από το πειραματικό design προς εφαρμογές δημόσιου χώρου. Η εταιρεία αναπτύσσει ένα υγρό «living raw material» από φυσικά βιοφωταυγή θαλάσσια βακτήρια και σχεδιάζει συστήματα μέσα στα οποία η καλλιέργεια μπορεί να διατηρείται και να χρησιμοποιείται ως φωτεινό υλικό. Στην τρέχουσα επίσημη περιγραφή της, η Glowee αναφέρει ότι χρησιμοποιεί φυσικά βιοφωταυγή βακτήρια χωρίς γενετική τροποποίηση και επικεντρώνεται στη βελτίωση των συνθηκών καλλιέργειας και της φωτεινής τους απόδοσης (Glowee, n.d.).

Το σημαντικότερο pilot δημόσιου χώρου ήταν το *Rambiolum* στο Rambouillet της Γαλλίας, που εγκαινιάστηκε τον Ιανουάριο του 2023. Το έργο σχεδιάστηκε ως βιοφωταυγές αστικό επίπλο και όχι ως απλό εκθεσιακό prototype. Σκοπός του pilot ήταν να δοκιμαστούν ταυτόχρονα η χρήση της φωτεινής εμπειρίας, η τεχνική λειτουργία, η συντήρηση και η επιχειρησιακή διαχείριση του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες δημόσιου χώρου. Η ίδια η Glowee έχει διευκρινίσει ότι η προσέγγιση δεν προϋποθέτει την πλήρη εξαφάνιση των LED αλλά μια νέα «φιλοσοφία φωτισμού», όπου η βιοφωταύγεια μπορεί να αναλάβει συγκεκριμένους ρόλους χαμηλής έντασης, ατμόσφαιρας και χωρικής ταυτότητας (Laganier, 2023).



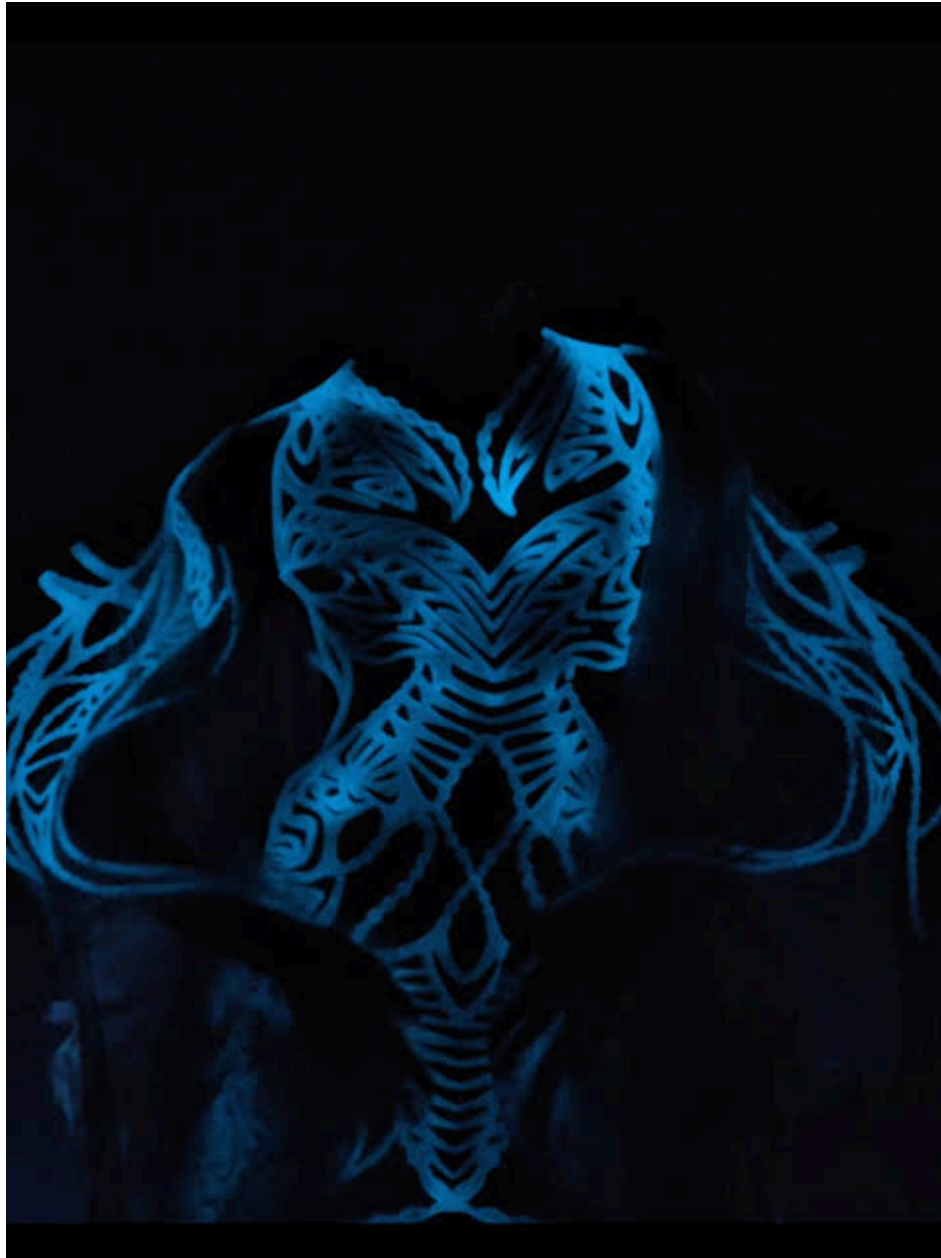
**Εικόνα 17.** *Rambolium* (2023), Glowee. Βιοφωταυγές στοιχείο αστικού εξοπλισμού στο Rambouillet της Γαλλίας, το οποίο αξιοποιεί βιοφωταυγή βακτήρια για την παραγωγή φωτός. Glowee / *Le Parisien*, 2023.

Η περίπτωση της Glowee είναι σημαντική ακριβώς επειδή αποκαλύπτει πόσο μεγάλη είναι η απόσταση ανάμεσα σε ένα εντυπωσιακό εργαστηριακό φαινόμενο και σε ένα πραγματικό lighting system. Το πρόβλημα δεν περιορίζεται στο εάν τα βακτήρια λάμπουν: χρειάζονται κατάλληλος περιέκτης, σταθερές συνθήκες ζωής, θερμική διαχείριση, ανανέωση, maintenance και πρωτόκολλα λειτουργίας. Στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα Pipelight\_2, για παράδειγμα, αναπτύχθηκαν συστήματα θερμικής μόνωσης και ελέγχου ώστε να σταθεροποιούνται οι συνθήκες ζωής των βακτηρίων. Εδώ η βιοφωταύγεια γίνεται πλέον ζήτημα **σχεδιασμού υποδομής** και όχι μόνο υλικής καινοτομίας.

Η ερευνητική γραμμή των nanobionic plants του MIT αποτελεί ένα συναφές αλλά διαφορετικό μοντέλο living lighting. Το 2017, η ομάδα του Michael Strano δημιούργησε φυτά κάρδαμου που εξέπεμπαν αμυδρό φως για αρκετές ώρες, εισάγοντας στα φύλλα νανοσωματίδια που μετέφεραν luciferase, luciferin και coenzyme A. Η luciferase καταλύει τη βιοχημική αντίδραση παραγωγής φωτός, ενώ το ίδιο το φυτό παρέχει το ζωντανό μεταβολικό περιβάλλον. Η επιστημονική ομάδα διατύπωσε ήδη από τότε το μακροπρόθεσμο όραμα φυτών που θα μπορούσαν να λειτουργούν ως χαμηλής έντασης εσωτερικές πηγές ή ακόμη και ως ένα είδος ζωντανής αστικής υποδομής (Kwak et al., 2017).

Χρειάζεται, ωστόσο, ακρίβεια ως προς την κατηγοριοποίησή του. Τα φυτά αυτά **δεν είναι φυσικά βιοφωταυγή είδη**: η φωτεινή λειτουργία εισάγεται μέσω νανοβιονικού συστήματος. Ακόμη σημαντικότερο, η δεύτερη γενιά του 2021 δεν βασίζεται στη βιοφωταύγεια αλλά σε

φωσφορίζοντα νανοσωματίδια από αργλικό στρόντιο, τα οποία αποθηκεύουν φωτόνια και τα απελευθερώνουν σταδιακά μετά από «φόρτιση» με LED. Επομένως η έρευνα του 2021 πρέπει να αντιμετωπίζεται ως **συναφές precedent για plant-based living lighting και όχι ως βιοφωταυγές σύστημα** (Gordiichuk et al., 2021). Η διάκριση είναι ουσιαστική, γιατί δείχνει πόσο εύκολα ο όρος «glowing plant» μπορεί να συγχέει εντελώς διαφορετικούς φυσικούς και βιολογικούς μηχανισμούς.



**Εικόνα 18.** *Meta Morphism* (AW 2022), Iris van Herpen. Φωτεινό ένδυμα της συλλογής, όπου το φως αναδεικνύει τα οργανικά και βιομορφικά μοτίβα της επιφάνειας. Στιγμιότυπο οθόνης από βίντεο της συλλογής *Meta Morphism*. Πηγή: Iris van Herpen, 2022.

Το *Living Look*, που παρουσιάστηκε από την Iris van Herpen στην Paris Haute Couture Week το 2025 στο πλαίσιο της συλλογής *Symproiesis*, αποτελεί ένα από τα πιο προχωρημένα πρόσφατα παραδείγματα wearable bioluminescent design. Το ένδυμα δημιουργήθηκε με περίπου 125 εκατομμύρια ζωντανά κύτταρα *Pyrocystis lunula*, ενσωματωμένα σε gel material. Ο biodesigner Chris Bellamy συνεργάστηκε με τους ερευνητές Nico Schramma και Mazi Jalaal του University of Amsterdam για την ανάπτυξη των μηχανικά αποκρινόμενων βιοφωταυγών στοιχείων. Η κίνηση και η παραμόρφωση του ενδύματος διεγείρουν τα κύτταρα, προκαλώντας την εκπομπή μπλε φωτός (University of Amsterdam, 2025).

Το έργο είναι ιδιαίτερα σημαντικό ως biodesign επειδή η κατασκευή του ενδύματος δεν μπορεί να διαχωριστεί από τη συντήρηση του μικροοικοσυστήματος που περιέχει. Για να διατηρηθούν τα *P. lunula* ζωντανά πρέπει να ρυθμίζονται η υγρασία, η θερμοκρασία και ο κιρκάδιος ρυθμός σύμφωνα με τις συνθήκες του θαλάσσιου περιβάλλοντός τους. Η University of Amsterdam περιγράφει χαρακτηριστικά το ένδυμα ως κάτι που «καλλιεργείται» μάλλον παρά απλώς κατασκευάζεται. Η φροντίδα, επομένως, δεν είναι aftercare αλλά μέρος της σχεδιαστικής λογικής. Το *Living Look* μεταφέρει την έννοια του wearable από ένα αντικείμενο που τοποθετείται πάνω στο σώμα σε ένα μικρό living system που πρέπει να συντηρείται ενώ φοριέται (University of Amsterdam, 2025).

Η περίπτωση αυτή δείχνει επίσης γιατί δεν είναι χρήσιμο να τοποθετείται το έργο στο ίδιο αναλυτικό επίπεδο με μια βιοφωταυγή εικαστική εγκατάσταση. Εδώ πρέπει να αντιμετωπιστούν ταυτόχρονα η ευκαμψία του υλικού, η μηχανική διέγερση, η επαφή με το σώμα, η μορφολογία του ενδύματος, η επιβίωση της καλλιέργειας και η εμπειρία του φορέα. Πρόκειται επομένως για **wearable biodesign**, όπου η βιοφωταύγεια είναι λειτουργικό και μορφογενετικό τμήμα της σχεδιαστικής πρότασης.



**Εικόνα 19.** Oxman, N. (2015). *Wearable skins*, ένδυμα από σωλήνες που περιέχουν υγρό από κυανοβακτήρια που λαμβάνουν ενέργεια μέσω φωτοσύνθεσης, Mediated Matter group at MIT Media Lab.

Το *Living Mushtari* του Mediated Matter Group στο MIT πρέπει να συμπεριληφθεί ως σημαντικό precedent για τον σχεδιασμό φορετών ζωντανών συστημάτων, αλλά όχι ως παράδειγμα βιοφωταύγειας. Πρόκειται για 3D-printed wearable με περίπου 58 μέτρα εσωτερικών καναλιών, σχεδιασμένο ως «microbial factory». Η πρόταση βασίζεται στη συμβιωτική συνύπαρξη φωτοσυνθετικών μικροοργανισμών, όπως μικροφύκη ή κυανοβακτήρια, με άλλους μικροοργανισμούς που θα μπορούσαν θεωρητικά να παράγουν χρωστικές, καύσιμα, αρώματα ή άλλες χρήσιμες ουσίες (Mediated Matter, 2015).

Η αξία του για τη μελέτη της βιοφωταύγειας είναι αναλογική και κατασκευαστική. Το έργο δείχνει τι σημαίνει να μετατρέπεται ένα φορετό αντικείμενο σε πραγματική υποδομή ζωής: χρειάζονται εσωτερικά κανάλια, διαφορετικές διαβαθμίσεις υλικών, ροή υγρών, σχέση με το φως και γεωμετρία που υποστηρίζει μικροβιακές διεργασίες. Επομένως μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση του προβλήματος ενός μελλοντικού βιοφωταυγούς wearable, αλλά δεν πρέπει να παρουσιάζεται ως βιοφωταυγές έργο. Η διάκριση αυτή αποτρέπει την ταύτιση κάθε σχεδιασμού με ζωντανούς μικροοργανισμούς με τον σχεδιασμό φωτός.



## 1.4 Σχεδιαστικοί περιορισμοί και δυνατότητες

Η διάκριση ανάμεσα στις δυνατότητες της βιοφωταύγειας ως εναλλακτικού φωτεινού μέσου και στους περιορισμούς της ως ευρείας κλίμακας εφαρμογής έχει ήδη επισημανθεί στη σχετική έρευνα. Η Κορακίδου (2020), εξετάζοντας παραδείγματα από τη σύγχρονη τέχνη και τον σχεδιασμό φωτισμού, θέτει ως βασικό ερώτημα τόσο τις περιβαλλοντικές και σχεδιαστικές δυνατότητες της βιοφωταύγειας όσο και τους περιορισμούς που εμποδίζουν την ευρύτερη εφαρμογή της. Η σύγκριση των παραπάνω περιπτώσεων δείχνει ότι το βασικό πρόβλημα της βιοφωταύγειας στον σχεδιασμό φωτισμού δεν είναι μόνο ότι το φως είναι ασθενέστερο από τις συμβατικές ηλεκτρικές πηγές. Το πραγματικό ζήτημα είναι ότι η φωτεινή πηγή αποτελεί **ζωντανό σύστημα**. Η λειτουργία της εξαρτάται από βιολογικές ανάγκες και μεταβάλλεται στον χρόνο. Το *Ambio* χρειάζεται κίνηση και οξυγόνωση, τα *Living Light Interfaces* μετατρέπουν τη μηχανική διέγερση σε interaction, ενώ το *Imprimer La Lumière* δείχνει ότι ακόμη και η γεωμετρία του υποστρώματος μεταβάλλει τη συμπεριφορά των μικροοργανισμών.

Αντίστοιχα, το έργο της Glowee δείχνει ότι η βιοφωταύγεια ενδέχεται να είναι περισσότερο παραγωγική όταν **δεν επιχειρεί να μιμηθεί το LED**. Η χαμηλή έντασή της μπορεί να αξιοποιηθεί σε περιβάλλοντα όπου ο στόχος είναι η ατμόσφαιρα, η καθοδήγηση, η αλληλεπίδραση, η ανάδειξη ή η συνειδητή διατήρηση σκοτεινότερων συνθηκών. Αυτή η αλλαγή οπτικής είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον σύγχρονο lighting design. Αν η αξία κάθε φωτεινής τεχνολογίας αξιολογείται αποκλειστικά με βάση τη μέγιστη φωτεινή ροή και την αποτελεσματικότητα φωτισμού εργασίας, η βιοφωταύγεια θα παραμένει ανεπαρκής. Αν όμως εξεταστεί ως διαφορετικός τύπος φωτεινού περιβάλλοντος —χαμηλής έντασης, δυναμικού, αλληλεπιδραστικού και οικολογικά χρονικού— τότε ανοίγει ένα εντελώς διαφορετικό πεδίο σχεδιασμού.

Παράλληλα, η συντήρηση πρέπει να θεωρηθεί βασικό μέρος της εμπειρίας χρήσης. Ένα ζωντανό φωτιστικό δεν αγοράζεται, εγκαθίσταται και ξεχνιέται. Χρειάζεται φροντίδα, παρατήρηση και προσαρμογή στις ανάγκες του οργανισμού. Αυτό αλλάζει την ίδια τη σχέση ανάμεσα στον χρήστη και στο αντικείμενο: ο χρήστης μετατρέπεται εν μέρει σε φροντιστή. Το *Living Look* κάνει αυτή την κατάσταση ιδιαίτερα εμφανή, καθώς ένα ένδυμα υψηλής ραπτικής πρέπει να διατηρεί κατάλληλη υγρασία, θερμοκρασία και βιολογικό ρυθμό για να παραμένει πραγματικά «ζωντανό».

Υπό αυτή την έννοια, η σημαντικότερη συμβολή της βιοφωταύγειας δεν είναι απαραίτητα η υπόσχεση ότι θα αντικαταστήσει σύντομα το ηλεκτρικό φως. Η συμβολή της βρίσκεται στο ότι αναγκάζει τον σχεδιασμό να επανεξετάσει τι θεωρεί φωτεινή πηγή, τι θεωρεί υλικό και ποια σχέση μπορεί να έχει ένα αντικείμενο με τον χρόνο και τη φροντίδα. Η φωτεινή πηγή δεν είναι πλέον ένα ανταλλακτικό εξάρτημα μέσα σε ένα κέλυφος αλλά ένας οργανισμός ή μια κοινότητα οργανισμών με δικό της ρυθμό. Η ένταση δεν είναι η μόνη παράμετρος· σημαντικές γίνονται η ανταπόκριση, η διάρκεια, η αστάθεια, η αλληλεπίδραση και η σχέση με το σκοτάδι.

Η διάκριση ανάμεσα στα δύο κεφάλαια μπορεί επομένως να διατυπωθεί καθαρά: **στη βιοφωταυγή τέχνη το φως χρησιμοποιείται πρωτίστως για να παραγάγει νόημα, εμπειρία και αισθητική μορφή· στον βιοφωταυγή σχεδιασμό το ζωντανό φως πρέπει επιπλέον να οργανωθεί ως υλικό, διεπαφή, αντικείμενο, φορετό σύστημα ή χωρική υποδομή**. Η διάκριση αυτή δεν σημαίνει ότι τέχνη και design δεν συναντώνται. Αντίθετα, τα

ορία τους παραμένουν πορώδη. Επιτρέπει όμως να αξιολογούνται τα έργα με διαφορετικά και συνεπέστερα κριτήρια και να αποφεύγεται η επανάληψη των ίδιων παραδειγμάτων για διαφορετικούς θεωρητικούς σκοπούς.

### 1.5 Ηθική, βιοασφάλεια και ευθύνη της ζωντανής ύλης

Η χρήση ζωντανών οργανισμών ως καλλιτεχνικού υλικού δεν αποτελεί μόνο τεχνική ή αισθητική επιλογή. Εισάγει ζητήματα ευθύνης που σχετίζονται με τον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί καλλιεργούνται, διατηρούνται, εκτίθενται και τελικά απομακρύνονται ή παύουν να αποτελούν μέρος του έργου. Στη Bio Art, επομένως, η ηθική δεν αφορά αποκλειστικά το μήνυμα ενός έργου, αλλά και τις ίδιες τις διαδικασίες μέσω των οποίων αυτό παράγεται. Η Vaage (2016) επισημαίνει ότι τα έργα που χρησιμοποιούν ζωντανό υλικό χρειάζεται να εξετάζονται τόσο μέσα από τη βιοηθική όσο και ως καλλιτεχνικές πρακτικές, λαμβάνοντας υπόψη το συγκεκριμένο πλαίσιο, τις μεθόδους και τον τρόπο με τον οποίο το έργο γίνεται αντιληπτό από το κοινό.

Η συνθήκη αυτή δημιουργεί μια βασική ένταση στη Bio Art: ένας οργανισμός μπορεί ταυτόχρονα να αποτελεί ζωντανό ον και καλλιτεχνικό υλικό. Έργα όπως το *Victimless Leather* καθιστούν αυτή την ένταση εμφανή, επειδή η επιβίωση του έργου προϋποθέτει συνεχή τεχνική υποστήριξη και φροντίδα. Η σχέση ανάμεσα στον δημιουργό και το υλικό δεν είναι επομένως ουδέτερη. Η χρήση της ζωής μπορεί να λειτουργήσει ως αφετηρία για κριτική απέναντι στη βιοτεχνολογική διαχείριση των οργανισμών, αλλά δεν παύει η ίδια να αποτελεί μια μορφή παρέμβασης πάνω σε αυτούς. Αυτή η αντίφαση δεν χρειάζεται απαραίτητα να επιλυθεί· μπορεί να αποτελέσει μέρος του ερωτήματος που θέτει το ίδιο το έργο (Vaage, 2016).

Η βιοφωταύγεια παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτό το πλαίσιο, επειδή μπορεί να κάνει μια μικροβιακή ή κυτταρική διαδικασία άμεσα αντιληπτή χωρίς να απαιτείται από τον θεατή εξειδικευμένο επιστημονικό εξοπλισμό. Το φως μπορεί να λειτουργήσει ως σημείο εισόδου σε ζητήματα μικροβιολογίας, οικολογίας ή βιοτεχνολογίας. Ταυτόχρονα όμως υπάρχει ο κίνδυνος το αισθητικό αποτέλεσμα να αποσυνδεθεί από τις βιολογικές συνθήκες που το παράγουν: ο θεατής μπορεί να αντιλαμβάνεται μόνο τη φωτεινή εικόνα, χωρίς να είναι εμφανείς οι απαιτήσεις καλλιέργειας, η διάρκεια ζωής του συστήματος ή οι διαδικασίες που απαιτούνται για τη διατήρησή του. Για τον λόγο αυτό, η τεκμηρίωση και η παρουσίαση του βιολογικού πλαισίου αποτελούν σημαντικό μέρος μιας υπεύθυνης καλλιτεχνικής πρακτικής.

Η βιοασφάλεια αποτελεί επίσης πρακτική προϋπόθεση και όχι εξωτερικό περιορισμό της δημιουργικής διαδικασίας. Η αξιολόγηση του βιολογικού υλικού, οι κατάλληλες συνθήκες περιορισμού και η ασφαλής διαχείρισή του πρέπει να προσαρμόζονται στον συγκεκριμένο οργανισμό και στο πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται. Οι γενικές αρχές της σύγχρονης εργαστηριακής βιοασφάλειας βασίζονται ακριβώς στην αξιολόγηση κινδύνου και στην επιλογή κατάλληλων μέτρων περιορισμού και προστασίας (CDC & NIH, 2020). Στην καλλιτεχνική πρακτική, αυτό σημαίνει ότι οι απαιτήσεις δεν μπορούν να γενικευθούν για κάθε μορφή Bio Art αλλά πρέπει να εξετάζονται ανά έργο, οργανισμό και χώρο παρουσίασης.

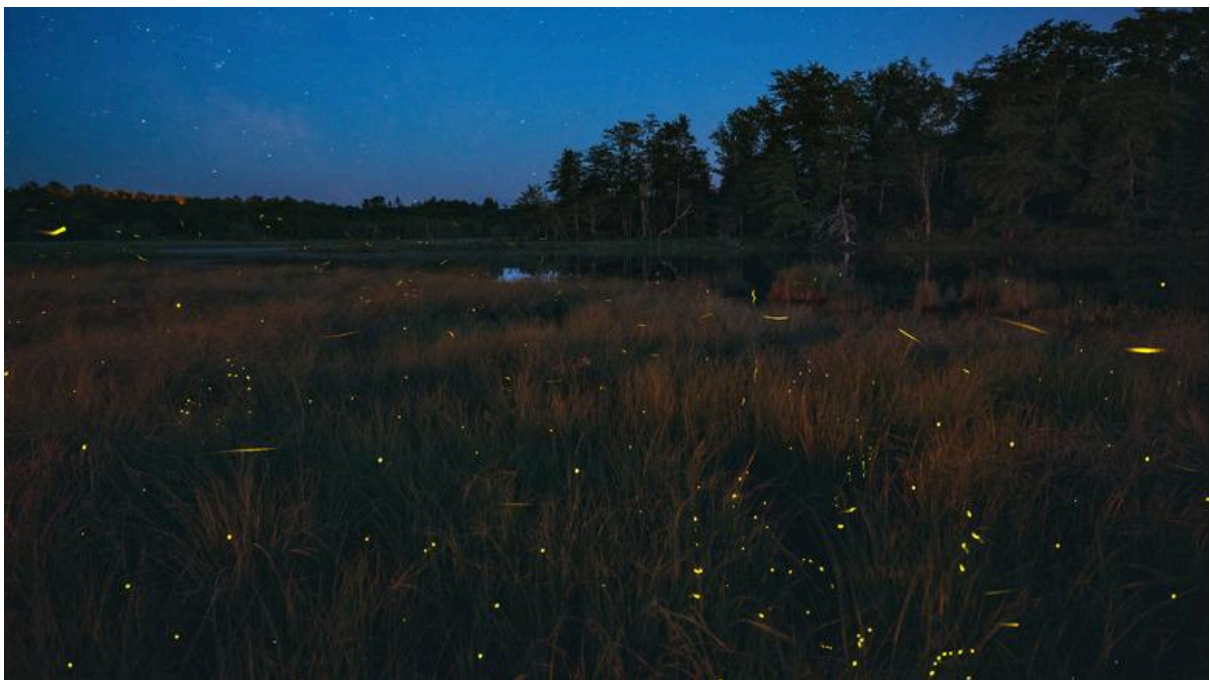
Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί διεπιστημονικά περιβάλλοντα στα οποία καλλιτεχνική έρευνα και βιολογική εργαστηριακή πρακτική συνυπάρχουν. Το SymbioticA στο University of Western Australia επιτρέπει σε καλλιτέχνες να εργάζονται με τεχνικές των βιοεπιστημών μέσα σε οργανωμένο εργαστηριακό πλαίσιο, ενώ το Open Wetlab της Waag συνδυάζει καλλιτεχνική και σχεδιαστική έρευνα με εργαστηριακή εκπαίδευση και πρακτικές βιοασφάλειας. Τέτοιες δομές δείχνουν ότι η συνεργασία τέχνης και επιστήμης δεν περιορίζεται στην παροχή τεχνικής υποστήριξης, αλλά μπορεί να επηρεάζει τη διαμόρφωση του ίδιου του ερευνητικού ερωτήματος, των πρωτοκόλλων και των όρων δημόσιας παρουσίας.

Η αισθητική μορφή δεν μπορεί να διαχωριστεί πλήρως από τη βιολογική κατάσταση του οργανισμού που παράγει το φως. Η διατήρηση, η ενεργοποίηση και η έκθεσή του αποτελούν ταυτόχρονα βιολογικά, σχεδιαστικά και ηθικά ζητήματα. Η βιοφωταύγεια εισάγει έτσι μια διαφορετική αντίληψη του φωτός: όχι ως ουδέτερης τεχνικής παροχής, αλλά ως γεγονότος που εξαρτάται από ένα σώμα, ένα περιβάλλον και συγκεκριμένες συνθήκες ζωής.

Η διαπίστωση αυτή ανοίγει και ένα ευρύτερο ερώτημα, το οποίο υπερβαίνει πλέον τη βιοφωταύγεια ως υλικό: τι σημαίνει για ένα σώμα να γίνεται ορατό και υπό ποιες συνθήκες η ορατότητα λειτουργεί ως δυνατότητα παρουσίας, αναγνώρισης ή προστασίας και πότε, αντίθετα, μετατρέπεται σε έκθεση, επιτήρηση ή έλεγχο; Από αυτό το σημείο η έρευνα μετακινείται από το ζωντανό φως προς την πολιτική διάσταση της ορατότητας και τη σχέση της με το σώμα και τον χώρο.

\

## 2. Φως, σώμα και πολιτικές ορατότητας



**Εικόνα 20.** Βιοφωταύγεια πυγολαμπίδων (*Lampyridae*) σε νυχτερινό φυσικό περιβάλλον. βΦωτογραφία μεγάλης έκθεσης πυγολαμπίδων στους υγροτόπους του ποταμού Niobrara, ΗΠΑ. Φωτογραφία: J. Gray. Πηγή: U.S. National Park Service.

Ο Pier Paolo Pasolini είδε τις πυγολαμπίδες σαν μικρές ρωγμές μέσα σε έναν κόσμο υπερφωτισμένο από την κατανάλωση, την εξουσία και την ομοιομορφία. Το φως τους είναι αδύναμο, ασυνεχές και εύθραυστο· δεν κυριαρχεί στο σκοτάδι, αλλά επιμένει μέσα του. Απέναντι σε αυτό το κυρίαρχο φως, η βιοφωταύγεια λειτουργεί διαφορετικά: όχι ως φως που αποκαλύπτει τα πάντα, αλλά ως ζωντανή παρουσία που εμφανίζεται στιγμιαία, εξαρτημένη από το περιβάλλον και τη σχέση της με αυτό. Η τέχνη μπορεί να κατοικήσει ακριβώς αυτή τη μικρή ένταση — ανάμεσα στην εξαφάνιση και την επιμονή, στη σιωπή και στο ίχνος — και να μετατρέψει το ελάχιστο φως σε μορφή αντίστασης (Pasolini, 1975; Didi-Huberman, 2018).

Η βιοφωταύγεια τοποθετεί το φως σε μια διαφορετική σχέση με το σώμα και το περιβάλλον από εκείνη που χαρακτηρίζει τον συμβατικό τεχνητό φωτισμό. Δεν πρόκειται για μια

εξωτερική πηγή που φωτίζει ένα ήδη υπάρχον αντικείμενο, αλλά για φως που παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς ως αποτέλεσμα βιοχημικών, χρονικών και περιβαλλοντικών διεργασιών. Στα θαλάσσια οικοσυστήματα η βιοφωταύγεια επιτελεί διαφορετικές λειτουργίες —από άμυνα και επικοινωνία έως προσέλκυση λείας ή συντρόφου— και αποτελεί επομένως μέρος ενός οικολογικού συστήματος σημάτων και σχέσεων. Η εξέτασή της ως σχεδιαστικού και καλλιτεχνικού μέσου απαιτεί συνεπώς μια διεκπεραιωμένη θεωρία του φωτός: όχι μόνο ως φυσικού μεγέθους ή αισθητικού αποτελέσματος, αλλά ως διαδικασίας που συνδέει οργανισμούς, σώματα, περιβάλλοντα και καθεστώτα ορατότητας (Haddock et al., 2010; Widder, 2010).

Με αυτή την έννοια, το παρόν κεφάλαιο εξετάζει το φως σε τρεις αλληλένδετες διαστάσεις. Αρχικά, μέσα από τη σχέση με τον τόπο και το τοπίο, διερευνάται το φως ως περιβαλλοντικό και χρονικό φαινόμενο που δεν μπορεί να αποκοπεί από τον τόπο και τις υλικές του συνθήκες. Στη συνέχεια, μέσα από τη βιοπολιτική, την Border Art και τις forensic πρακτικές, το φως προσεγγίζεται ως μηχανισμός παραγωγής ορατότητας, γνώσης και πολιτικής αναγνωσιμότητας. Τέλος, μέσα από τον κριτικό και speculative design εξετάζεται η δυνατότητα του ζωντανού φωτός να λειτουργήσει ως ερευνητικό και σχεδιαστικό υλικό, όχι μιμούμενο τον ηλεκτρικό φωτισμό αλλά προτείνοντας μια διαφορετική σχέση ανάμεσα στην εμφάνιση, την ευαλωτότητα και το περιβάλλον.

## 2.1 Φως, τόπος και περιβαλλοντική χρονικότητα

Το φυσικό φως δεν αποτελεί μόνο μέσο οπτικής αντίληψης ούτε μια εξωτερική συνθήκη που εφαρμόζεται σε έναν ήδη διαμορφωμένο χώρο. Η παρουσία του συνδέεται άμεσα με τον τόπο: με τον προσανατολισμό, την τοπογραφία, τα υλικά, την ατμόσφαιρα, την ώρα και την εποχή. Μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλονται αυτές οι συνθήκες και, ταυτόχρονα, μεταβάλλει τον τρόπο με τον οποίο ο χώρος γίνεται αντιληπτός. Αναδεικνύει ή εξαφανίζει όρια, παράγει βάθος, οργανώνει διαδρομές, δημιουργεί διαφορετικές σχέσεις ανάμεσα στο κοντινό και το μακρινό και καθιστά έναν τόπο διαφορετικό από στιγμή σε στιγμή. Το φως μπορεί επομένως να γίνει κατανοητό όχι ως αυτόνομο αντικείμενο αλλά ως χωρική και χρονική σχέση (Böhme, 2017; Ingold, 2000; Merleau-Ponty, 2012).

Η αντίληψη αυτή γίνεται ιδιαίτερα εμφανής στις καλλιτεχνικές πρακτικές που, από τη δεκαετία του 1960 και έπειτα, μετακινούν το έργο από τον ουδέτερο εκθεσιακό χώρο προς το ίδιο το τοπίο. Στη Land Art, η γη, η πέτρα, το νερό, η κλίμακα, η απόσταση και ο χρόνος παύουν να αποτελούν απλώς το περιβάλλον ενός έργου και συμμετέχουν ενεργά στη συγκρότησή του. Το τοπίο δεν λειτουργεί πλέον μόνο ως αντικείμενο αναπαράστασης αλλά ως υλική και χωρική συνθήκη με την οποία το έργο βρίσκεται σε συνεχή σχέση (Beardsley, 1998; Kastner & Wallis, 1998; Tiberghien, 1995).

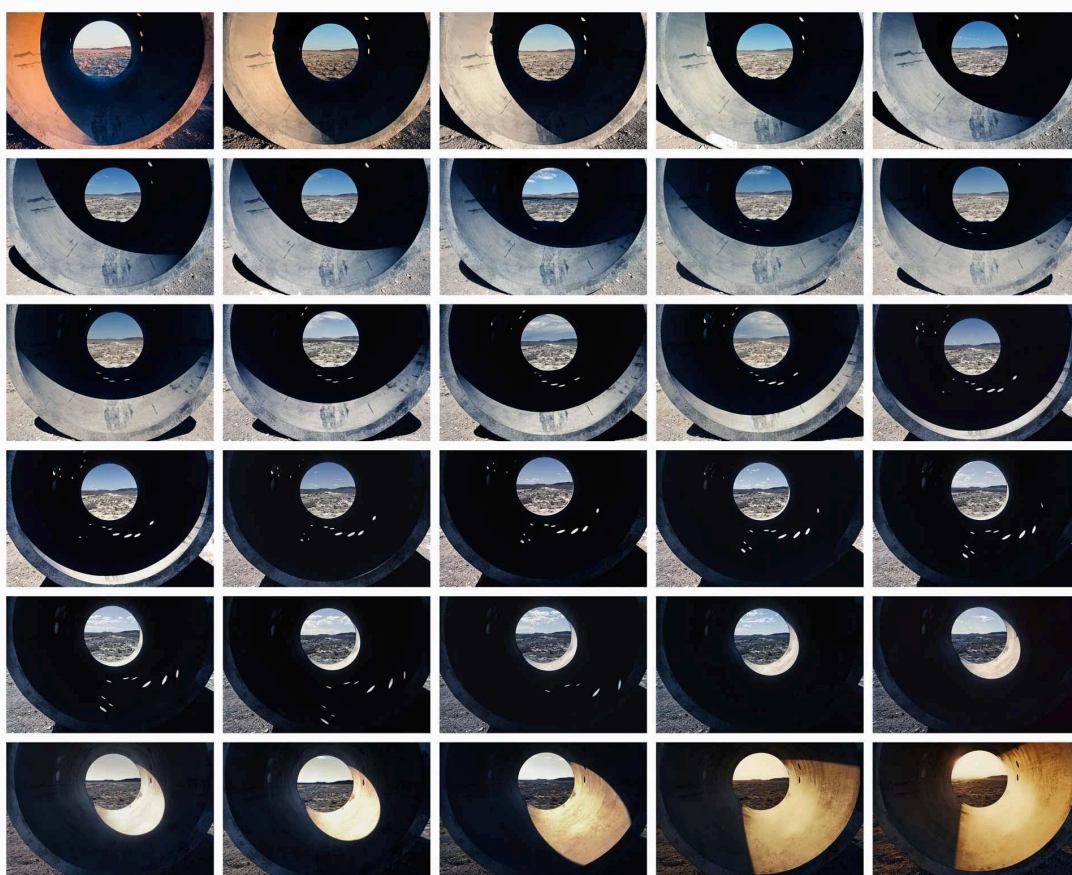
Στο Spiral Jetty του Robert Smithson, για παράδειγμα, η μορφή του έργου δεν μπορεί να διαχωριστεί από τον συγκεκριμένο τόπο στον οποίο βρίσκεται. Η στάθμη του νερού, οι αποθέσεις αλάτων, η διάβρωση και οι εποχικές μεταβολές μετασχηματίζουν συνεχώς την υλική και οπτική του παρουσία. Το έργο άλλοτε αποκαλύπτεται και άλλοτε καλύπτεται, αλλάζει χρώμα και υφή και ενσωματώνει τον χρόνο ως μέρος της ίδιας της μορφής. Δεν πρόκειται επομένως για ένα σταθερό αντικείμενο τοποθετημένο μέσα στο τοπίο, αλλά για



μια κατάσταση που παράγεται μέσα από τη σχέση τόπου, ύλης και διάρκειας (Kastner & Wallis, 1998; Smithson, 1996; Tiberghien, 1995).

Η σημασία αυτής της μετατόπισης για τη μελέτη του φωτός βρίσκεται ακριβώς στην εγκατάλειψη της ιδέας του έργου ως αυτάρκους αντικειμένου. Όπως το Spiral Jetty εξαρτάται από τις υλικές και χρονικές συνθήκες του Great Salt Lake, έτσι και το φυσικό φως δεν μπορεί να απομονωθεί από τις συνθήκες μέσα στις οποίες εμφανίζεται. Η φωτεινή εμπειρία ενός τόπου παράγεται από τη σχέση ανάμεσα στην πηγή, την ατμόσφαιρα, τις επιφάνειες, τον χρόνο και τη θέση του παρατηρητή. Το ίδιο το τοπίο λειτουργεί ως μηχανισμός μετασχηματισμού του φωτός (Böhme, 2017; Ingold, 2000).

Η σχέση αυτή βρίσκεται στο επίκεντρο του Sun Tunnels της Nancy Holt. Οι τέσσερις μεγάλοι τσιμεντένιοι κύλινδροι τοποθετούνται στην έρημο της Utah σε συγκεκριμένους άξονες που αντιστοιχούν στην ανατολή και τη δύση του ήλιου κατά τα ηλιοστάσια. Τα ανοίγματα στις επιφάνειές τους, οργανωμένα σύμφωνα με επιλεγμένους αστερισμούς, επιτρέπουν στο ηλιακό φως να εισέρχεται στο εσωτερικό και να σχηματίζει μεταβαλλόμενα φωτεινά μοτίβα. Ο τόπος, η αρχιτεκτονική μορφή και η κίνηση του ήλιου συγκροτούν από κοινού το έργο. Το φως δεν προστίθεται σε μια σταθερή κατασκευή αλλά αποτελεί μέρος της χρονικής της λειτουργίας (Holt, 1995; Tiberghien, 1995).



**Εικόνα 21.** Holt, N. (1977). *Sun Tunnels*, Εγκατάσταση Τοπίου, Holt/Smithson Foundation

Το Sun Tunnels εισάγει παράλληλα μια διαφορετική σχέση κλίμακας. Μέσα από τα ανοίγματα των κυλίνδρων, το σώμα του επισκέπτη συνδέεται ταυτόχρονα με το άμεσο έδαφος της ερήμου και με πολύ μεγαλύτερους ηλιακούς και αστρονομικούς κύκλους. Ο τόπος δεν νοείται έτσι ως ένα στατικό γεωγραφικό σημείο αλλά ως σημείο συνάντησης διαφορετικών χρονικοτήτων. Η διάρκεια μιας ανθρώπινης επίσκεψης, η ημερήσια πορεία του ήλιου, οι εποχικές μεταβολές και οι αστρονομικοί κύκλοι συνυπάρχουν στην ίδια εμπειρία (Holt, 1995; Merleau-Ponty, 2012).

Στο έργο του James Turrell η σχέση φωτός και τόπου γίνεται ακόμη πιο άμεση. Στο Roden Crater, ένα ανενεργό ηφαιστειακό πεδίο στην Αριζόνα που μετασχηματίζεται από τον καλλιτέχνη από τα τέλη της δεκαετίας του 1970, η αρχιτεκτονική οργανώνεται ώστε να πλαισιώνει και να μετασχηματίζει την αντίληψη του ουρανού και των ουράνιων φαινομένων. Ανοίγματα, διάδρομοι και εσωτερικοί χώροι λειτουργούν ως οπτικά όργανα που επαναπροσδιορίζουν τη σχέση ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα, τον ορίζοντα και το φως. Το φως δεν φωτίζει απλώς τον χώρο· συμμετέχει στην παραγωγή της ίδιας της αίσθησης του χώρου (Adcock, 1990; Turrell, 1992).



**Εικόνα 22.** Roden Crater (1977–σήμερα), James Turrell. Όψεις και εσωτερικοί χώροι του έργου στην Αριζόνα, όπου η αρχιτεκτονική διαμορφώνεται ως παρατηρητήριο του φωτός, του ουρανού και των ουράνιων φαινομένων. The Long Now Foundation, *James Turrell's Roden Crater, an Artwork 45 Years in the Making, Set to Open...Sooner*, 2019.

Στα έργα αυτά, το φως εμφανίζεται ως κατεξοχήν σχεσιακό υλικό. Δεν διαθέτει σταθερή μορφή ανεξάρτητα από το περιβάλλον του, αλλά γίνεται αντιληπτό μέσα από τις επιφάνειες που συναντά, την ατμόσφαιρα μέσα από την οποία διαδίδεται και τις χρονικές μεταβολές στις οποίες υπόκειται. Η υλικότητα του φωτός βρίσκεται συνεπώς στις σχέσεις που δημιουργεί και όχι σε μια μόνιμη υλική υπόσταση (Böhme, 2017; Ingold, 2000). Η φωτεινή εμφάνιση δεν μπορεί να αποσπαστεί από το σύστημα μέσα στο οποίο παράγεται. Δεν πρόκειται επομένως απλώς για αντικατάσταση μιας συμβατικής πηγής φωτισμού με μια βιολογική, αλλά για μια διαφορετική λογική σχεδιασμού, στην οποία το φως συνδέεται με διαδικασίες μεταβολής, αλληλεπίδρασης και χρονικότητας (Haddock et al., 2010; Widder, 2010).

Η διαφορά αυτή είναι ουσιαστική. Ο συμβατικός τεχνητός φωτισμός σχεδιάζεται συνήθως με στόχο τη σταθερότητα και τον έλεγχο: συγκεκριμένη ένταση, διάρκεια, κατεύθυνση και προβλέψιμη απόδοση. Το ζωντανό φως, αντίθετα, εισάγει έναν βαθμό μεταβλητότητας. Η φωτεινή παρουσία μπορεί να είναι περιοδική, να εμφανίζεται σε διαφορετική ένταση ή να μεταβάλλεται σε σχέση με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η μεταβλητότητα αυτή δεν αποτελεί αναγκαστικά ατέλεια που πρέπει να εξαλειφθεί, αλλά μπορεί να αποτελέσει ουσιαστικό χαρακτηριστικό της εμπειρίας και του σχεδιασμού (Haddock et al., 2010; Widder, 2010). Ο τόπος αποκτά έτσι διαφορετική σημασία. Δεν αποτελεί απλώς το σημείο εγκατάστασης μιας φωτεινής κατασκευής αλλά συμμετέχει στην παραγωγή της. Η θερμοκρασία, το νερό, η κίνηση, οι κύκλοι ημέρας και νύχτας και η παρουσία άλλων οργανισμών μπορούν να γίνουν παράμετροι του φωτεινού αποτελέσματος. Το έργο μετακινείται επομένως από μια λογική κατά την οποία το φως επιβάλλεται στον χώρο προς μια λογική κατά την οποία η φωτεινή κατάσταση προκύπτει μέσα από τις σχέσεις του ίδιου του χώρου (Böhme, 2017; Ingold, 2000).

Η μετατόπιση αυτή αποτελεί ταυτόχρονα το σημείο μετάβασης προς το επόμενο ερώτημα της έρευνας. Αν η εμφάνιση του φωτός εξαρτάται από συγκεκριμένες χωρικές και υλικές συνθήκες, τότε η ορατότητα δεν μπορεί να θεωρηθεί ούτε δεδομένη ούτε ουδέτερη. **Το πώς ένας χώρος καθίσταται ορατός, τι αναδεικνύεται μέσα σε αυτόν και υπό ποιες συνθήκες κάτι εμφανίζεται ή παραμένει δυσδιάκριτο ανοίγει ένα διαφορετικό πεδίο διερεύνησης: όχι πλέον μόνο της σχέσης φωτός και τόπου, αλλά της σχέσης φωτός, σώματος και ορατότητας.**



## 2.2 Το φως ως βιοπολιτική στρατηγική

### 2.2.1 Εξουσία και καθεστώς ορατότητας

Για την κατανόηση της πολιτικής διάστασης της ορατότητας είναι αναγκαίο να διακριθούν διαφορετικοί τρόποι άσκησης της εξουσίας πάνω στο σώμα και στον πληθυσμό. Στο *Discipline and Punish*, ο Michel Foucault περιγράφει την ανάδυση μιας πειθαρχικής εξουσίας που δεν λειτουργεί κυρίως μέσω θεαματικών μορφών κυριαρχίας, αλλά μέσω καθημερινών μηχανισμών επιτήρησης, χωρικής οργάνωσης, ταξινόμησης και κανονικοποίησης. Το σώμα γίνεται αντικείμενο λεπτομερούς διαχείρισης: τοποθετείται στον χώρο, παρακολουθείται, συγκρίνεται και εκπαιδεύεται ώστε να καθίσταται ταυτόχρονα παραγωγικό και υπάκουο. Στο πανοπτικό μοντέλο, η ίδια η δυνατότητα να παρατηρείται κανείς αρκεί για να εσωτερικευθεί η πειθαρχία, γεγονός που καθιστά την ορατότητα τεχνολογία εξουσίας και όχι αυτονόητη μορφή ελευθερίας (Foucault, 1977).

Η έννοια της βιοπολιτικής διευρύνει αυτή την ανάλυση πέρα από το μεμονωμένο σώμα. Στον πρώτο τόμο της *History of Sexuality*, ο Foucault περιγράφει την ανάπτυξη μιας μορφής εξουσίας που επικεντρώνεται στη ζωή ως βιολογικό και πολιτικό φαινόμενο. Από τον 18ο αιώνα, ζητήματα όπως η γέννηση, η θνησιμότητα, η υγεία, η διάρκεια ζωής, η αναπαραγωγή και η κατανομή των πληθυσμών γίνονται αντικείμενα συστηματικής γνώσης και πολιτικής παρέμβασης. Η εξουσία δεν επιδιώκει πλέον μόνο να απαγορεύσει ή να τιμωρήσει· επιχειρεί να οργανώσει, να υπολογίσει και να βελτιστοποιήσει τη ζωή. Η βιοεξουσία λειτουργεί επομένως μέσα από την παραγωγή γνώσης για τους πληθυσμούς και την ανάπτυξη τεχνικών που επιτρέπουν τη ρύθμισή τους (Foucault, 1978).

Η πειθαρχία και η βιοπολιτική δεν αποτελούν δύο διαδοχικά και αμοιβαία αποκλειόμενα συστήματα. Αντίθετα, λειτουργούν παράλληλα σε διαφορετικές κλίμακες. Η πειθαρχία στρέφεται στο ατομικό σώμα, στις κινήσεις, στις συμπεριφορές και στις δυνατότητές του, ενώ η βιοπολιτική στρέφεται στα στατιστικά χαρακτηριστικά και στις πιθανότητες που αφορούν ένα σύνολο σωμάτων. Η μία παράγει το «κανονικό» σώμα μέσα από την εκπαίδευση και την επιτήρηση, ενώ η άλλη παράγει τον «πληθυσμό» ως αντικείμενο υπολογισμού και ρύθμισης. Η σύγχρονη εξουσία μπορεί επομένως να λειτουργεί ταυτόχρονα μέσω μικροτεχνικών που οργανώνουν το άτομο και μέσω στρατηγικών που οργανώνουν τη ζωή σε μαζική κλίμακα (Foucault, 1978, 2003).

Στις διαλέξεις *Security, Territory, Population*, η ανάλυση αυτή συνδέεται με την έννοια της ασφάλειας και της κυβερνητικότητας. Οι μηχανισμοί ασφάλειας δεν επιχειρούν απαραίτητα να εξαλείψουν κάθε κίνδυνο. Αντίθετα, λειτουργούν υπολογίζοντας πιθανότητες, αποδεκτά επίπεδα κινδύνου και κανονικές αποκλίσεις μέσα σε έναν πληθυσμό. Η εξουσία ενδιαφέρεται για τη διαχείριση της κυκλοφορίας ανθρώπων, αγαθών, ασθενειών και πληροφοριών και για τη ρύθμιση των συνθηκών μέσα στις οποίες αυτή η κυκλοφορία μπορεί να πραγματοποιείται. Η βιοπολιτική συνδέεται έτσι με ένα πεδίο στο οποίο η ζωή δεν απαγορεύεται απλώς ή επιτρέπεται, αλλά κυβερνάται μέσω προβλέψεων, δεδομένων και διαφορετικών μορφών διαχείρισης του κινδύνου (Foucault, 2007).

Η έννοια αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τα σύνορα. Το σύγχρονο σύνορο δεν λειτουργεί αποκλειστικά ως γραμμή που διαχωρίζει δύο εθνικά εδάφη, αλλά ως σύστημα που αξιολογεί και διαφοροποιεί μορφές κινητικότητας. Διαβατήρια, θεωρήσεις εισόδου, βιομετρικά δεδομένα, λίστες επιτήρησης, κέντρα κράτησης, συστήματα ταξινόμησης κινδύνου και

δίκτυα επιτήρησης συμμετέχουν στη διαλογή ανάμεσα σε κινητικότητες που διευκολύνονται και σε κινητικότητες που επιβραδύνονται, αποτρέπονται ή ποινικοποιούνται. Το σύνορο λειτουργεί επομένως ως βιοπολιτική τεχνολογία που δεν ρυθμίζει απλώς το έδαφος αλλά διαφορετικά δικαιώματα κίνησης, παραμονής και προστασίας (Mezzadra & Neilson, 2013; Foucault, 2007).



**Εικόνα 23.** Εναέρια επιτήρηση των εξωτερικών συνόρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης από τη Frontex με τη χρήση αεροσκαφών και μη επανδρωμένων εναέριων συστημάτων (drones). Στιγμιότυπο οθόνης από βίντεο της Frontex – European Border and Coast Guard Agency. Πηγή: Frontex / Facebook.

Η έννοια της βιοπολιτικής επιτρέπει επίσης να κατανοηθεί γιατί η σύγχρονη επιτήρηση δεν περιορίζεται στην απλή παρακολούθηση ενός προσώπου. Οι τεχνολογίες αναγνώρισης, οι βάσεις δεδομένων και τα συστήματα ανάλυσης κινδύνου παράγουν κατηγορίες και πρότυπα μέσα στα οποία εντάσσονται τα σώματα. Το υποκείμενο γίνεται ταυτόχρονα εικόνα, δεδομένο, πιθανότητα και στατιστική απόκλιση. Η ορατότητα αποκτά συνεπώς υπολογιστικό χαρακτήρα: δεν αρκεί ένα σώμα να εμφανίζεται οπτικά, αλλά πρέπει να μπορεί να καταγραφεί, να συγκριθεί και να καταστεί αναγνώσιμο από ένα τεχνικό σύστημα. Η διαχείριση της ζωής συνδέεται έτσι άμεσα με τη διαχείριση της πληροφορίας που παράγεται για αυτήν (Brighenti, 2010; Foucault, 2007).

Αυτή η λογική καθιστά προβληματική την ταύτιση της ορατότητας με την πολιτική αναγνώριση. Ένα σώμα μπορεί να είναι εξαιρετικά ορατό σε ένα σύστημα επιτήρησης και ταυτόχρονα πολιτικά αόρατο ως φορέας δικαιωμάτων ή μαρτυρίας. Αντίστροφα, η αορατότητα μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να προστατεύει από μηχανισμούς καταγραφής και ελέγχου. Η πολιτική της ορατότητας δεν μπορεί επομένως να περιγραφεί απλώς ως σύγκρουση ανάμεσα στο να φαίνεται κανείς και στο να μη φαίνεται. Αφορά το ποιος



κατασκευάζει τα καθεστώτα αναγνωσιμότητας, με ποια μέσα και με ποιες συνέπειες για τα σώματα που εισέρχονται σε αυτά (Brighenti, 2010; Mirzoeff, 2011).

Στο σημείο αυτό η έννοια της νεκροπολιτικής του Achille Mbembe προσφέρει μια κρίσιμη επέκταση της φουκωικής προβληματικής. Ο Mbembe διερευνά μορφές κυριαρχίας στις οποίες το πολιτικό ζήτημα δεν αφορά μόνο την παραγωγή και τη διαχείριση της ζωής, αλλά και τη δυνατότητα έκθεσης ορισμένων πληθυσμών στον θάνατο. Η εξουσία μπορεί να δημιουργεί χώρους όπου η ζωή διατηρείται σε καθεστώς ακραίας επισφάλειας, εγκατάλειψης ή διαρκούς έκθεσης στη βία. Η νεκροπολιτική επιτρέπει έτσι να εξεταστούν οι άνισοι τρόποι με τους οποίους κατανέμεται το δικαίωμα στην ασφάλεια, στη μετακίνηση και στην προστασία (Mbembe, 2003).

Η σχέση βιοπολιτικής και νεκροπολιτικής είναι ιδιαίτερα εμφανής σε χώρους όπου η ζωή εξαρτάται από την πρόσβαση σε υποδομές προστασίας ή από την απόφαση ενός θεσμού να ενεργήσει. Η διαχείριση ενός πληθυσμού μπορεί να περιλαμβάνει όχι μόνο ενεργές παρεμβάσεις, αλλά και μορφές εγκατάλειψης, καθυστέρησης ή μη επέμβασης. Η έκθεση στον κίνδυνο δεν αποτελεί επομένως πάντοτε εξαίρεση από τη λειτουργία της εξουσίας· μπορεί να ενσωματώνεται στον ίδιο τον τρόπο με τον οποίο αυτή οργανώνει χώρους και πληθυσμούς. Στο πλαίσιο των συνόρων, το ερώτημα μετατοπίζεται έτσι από το «ποιος επιτρέπεται να περάσει» προς το ευρύτερο «ποια ζωή θεωρείται άξια προστασίας και υπό ποιες συνθήκες» (Mbembe, 2003; Mezzadra & Neilson, 2013).

Η βιοπολιτική προσφέρει συνεπώς ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο το φως και η ορατότητα αποκτούν πολιτική διάσταση. Τα τεχνολογικά μέσα που καθιστούν ένα σώμα ορατό —κάμερες, αισθητήρες, δορυφορικές εικόνες, βιομετρικά συστήματα ή φωτισμένες ζώνες ελέγχου— δεν αποτελούν ουδέτερες προεκτάσεις της ανθρώπινης όρασης. Εντάσσονται σε συστήματα ταξινόμησης, ασφάλειας και διαχείρισης της κινητικότητας. Το κρίσιμο ζήτημα δεν είναι συνεπώς απλώς η αύξηση ή η μείωση της ορατότητας αλλά ο τρόπος με τον οποίο η ορατότητα μετατρέπεται σε γνώση, και η γνώση σε δυνατότητα παρέμβασης πάνω στη ζωή (Brighenti, 2010; Foucault, 2007; Mirzoeff, 2011).

### **2.2.2 Από την ορατότητα στην αδιαφάνεια: το δικαίωμα να μην είσαι πλήρως αναγνώσιμος**

Η κριτική στα καθεστώτα ορατότητας οδηγεί σε ένα διαφορετικό ερώτημα: είναι πάντοτε πολιτικά επιθυμητό να γίνεται ένα υποκείμενο περισσότερο ορατό; Η έννοια της αδιαφάνειας (*opacity*) του Édouard Glissant προσφέρει ένα σημαντικό θεωρητικό αντίβαρο στην απαίτηση για απόλυτη διαφάνεια. Στο *Poetics of Relation*, ο Glissant συνδέει τη διαφάνεια με την απαίτηση ο άλλος να καταστεί πλήρως κατανοητός μέσα από κατηγορίες που του επιβάλλονται εξωτερικά. Το «δικαίωμα στην αδιαφάνεια» δεν σημαίνει απουσία σχέσης ή απόλυτη απόκρυψη, αλλά αναγνώριση ότι η σχέση δεν προϋποθέτει την πλήρη αναγωγή του άλλου σε ένα διαφανές και ταξινομήσιμο αντικείμενο γνώσης (Glissant, 1997).

Μεταφερόμενη στο πεδίο της σύγχρονης τεχνολογικής ορατότητας, η αδιαφάνεια αποκτά ιδιαίτερη πολιτική σημασία. Η αυξανόμενη δυνατότητα των ψηφιακών συστημάτων να αναγνωρίζουν πρόσωπα, κινήσεις και συμπεριφορές δημιουργεί μια πολιτισμική συνθήκη στην οποία το να είναι κανείς ορατός σημαίνει ολοένα συχνότερα και το να είναι μηχανικά

αναγνώσιμος. Η αδιαφάνεια διαφοροποιείται εδώ τόσο από την ιδιωτικότητα όσο και από την πλήρη αορατότητα: δεν απαιτεί την εξαφάνιση του υποκειμένου, αλλά αμφισβητεί το δικαίωμα ενός συστήματος να το μετατρέπει χωρίς υπόλοιπο σε δεδομένα και κατηγορίες (Blas & Gaboury, 2016; Glissant, 1997).

Η Hito Steyerl διερευνά αυτή την ένταση στο έργο *How Not to Be Seen: A Fucking Didactic Educational .MOV File* του 2013. Με τη μορφή ενός ειρωνικού εκπαιδευτικού βίντεο, το έργο παρουσιάζει διαφορετικές στρατηγικές για το πώς μπορεί κάποιος να «μη φαίνεται» σε ένα περιβάλλον εκτεταμένης ψηφιακής και στρατιωτικής ορατότητας. Μέρος του έργου γυρίστηκε σε παλαιό φωτογραφικό calibration target στην έρημο, ένα πραγματικό ίχνος τεχνολογιών εναέριας παρατήρησης. Η Steyerl μετατρέπει έτσι την επιθυμία της αορατότητας σε κριτική της ίδιας της υποδομής που παράγει εικόνες και καθορίζει ποια σώματα, αντικείμενα ή γεγονότα μπορούν να αναγνωριστούν από αυτήν (Steyerl, 2013).

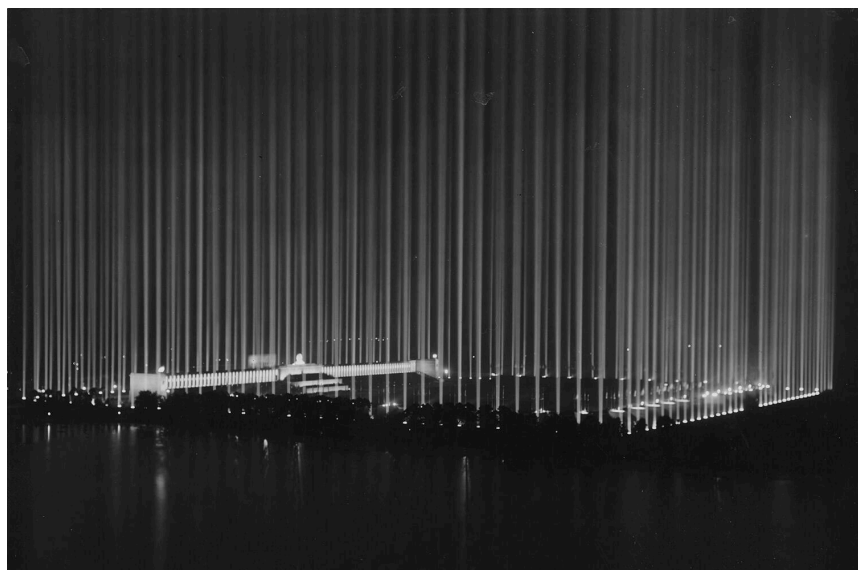
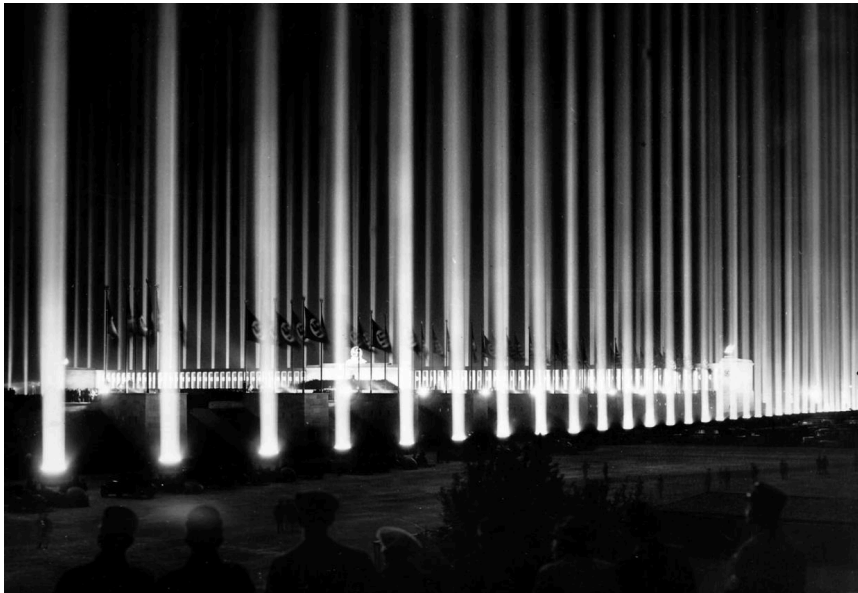
Μια διαφορετική στρατηγική αναπτύσσει ο Zach Blas στο *Facial Weaponization Suite* (2012–2014). Μέσα από εργαστήρια συλλογής βιομετρικών δεδομένων, ο Blas δημιουργεί συλλογικές, άμορφες μάσκες που προκύπτουν από τη σύνθεση πολλαπλών προσώπων. Οι μάσκες δεν λειτουργούν μόνο ως συμβολικά αντικείμενα διαμαρτυρίας· είναι κατασκευασμένες ώστε να διαταράσσουν την αναγνωσιμότητα του προσώπου από συστήματα βιομετρικής αναγνώρισης. Η έννοια της *informatic opacity* που προκύπτει από αυτή την πρακτική μετατρέπει την αδιαφάνεια σε ενεργή πολιτική στρατηγική: το πρόσωπο εξακολουθεί να υπάρχει και να εμφανίζεται δημόσια, αλλά αρνείται να ανταποκριθεί στη μορφή πληροφορίας που απαιτεί το μηχανήμα (Blas & Gaboury, 2016).

Οι πρακτικές αυτές μετατοπίζουν το πολιτικό ερώτημα από το δικαίωμα στην ορατότητα προς το δικαίωμα στον έλεγχο των όρων της ορατότητας. Η πολιτική χειραφέτηση δεν βρίσκεται αναγκαστικά στη μετάβαση από το σκοτάδι στο φως ή από την αφάνεια στην πλήρη διαφάνεια. Μπορεί να βρίσκεται στην ικανότητα ενός σώματος να εμφανίζεται χωρίς να καθίσταται πλήρως μετρήσιμο, ταξινομήσιμο ή προβλέψιμο. Η αδιαφάνεια λειτουργεί έτσι όχι ως αντίθετο της σχέσης αλλά ως όριο απέναντι στη μετατροπή κάθε σχέσης σε μηχανισμό γνώσης και ελέγχου (Glissant, 1997; Blas & Gaboury, 2016; Mirzoeff, 2011).

### 2.2.3 Σύνορα και τεχνολογίες ορατότητας

Όπως αναφέραμε και πριν, η πολιτική λειτουργία του φωτός δεν περιορίζεται στο να καθιστά έναν χώρο περισσότερο ορατό. Το φως μπορεί να οργανώνει σώματα, να οριοθετεί χώρους και να παράγει συγκεκριμένες σχέσεις ανάμεσα σε αυτόν που βλέπει και σε αυτόν που γίνεται ορατός. Ένα ακραίο ιστορικό παράδειγμα της άμεσης εμπλοκής του φωτός στην πολιτική συγκρότηση του χώρου αποτελεί το Lichtdom (Cathedral of Light) του Albert Speer στις ναζιστικές συγκεντρώσεις της Νυρεμβέργης. Ισχυροί αντιαεροπορικοί προβολείς τοποθετήθηκαν περιμετρικά του Zeppelin Field και κατευθύνθηκαν κατακόρυφα προς τον ουρανό, σχηματίζοντας ένα επαναλαμβανόμενο σύστημα φωτεινών «κιόνων». Το φως παρήγαγε έτσι μια εφήμερη αρχιτεκτονική χωρίς υλικά όρια: έναν μνημειακό φωτεινό περίβολο μέσα στον οποίο το συγκεντρωμένο πλήθος εντασσόταν σε μια ενιαία χωρική και οπτική τάξη. Η ναζιστική πολιτική σκηνογραφία δεν χρησιμοποιούσε επομένως τον φωτισμό ως απλή ενίσχυση της αρχιτεκτονικής· το ίδιο το φως μετατρέποταν σε αρχιτεκτονικό και ιδεολογικό μέσο.

Το Lichtdom καθιστά σαφές ότι η πολιτική λειτουργία του φωτός δεν περιορίζεται στην αποκάλυψη ή στην αύξηση της ορατότητας. Το φως μπορεί να οργανώνει σώματα, να οριοθετεί έναν πολιτικό χώρο και να μετασχηματίζει ένα πλήθος σε εικόνα συλλογικής ενότητας. Η κατακόρυφη επανάληψη των δεσμών εξαφανίζει σχεδόν το εξωτερικό περιβάλλον και δημιουργεί μια κλειστή συμβολική επικράτεια, ενώ η μνημειακή κλίμακα υποβάλλει το άτομο σε μια εμπειρία που υπερβαίνει το προσωπικό σώμα. Πρόκειται επομένως για μια μορφή πολιτικής σκηνογραφίας στην οποία η αισθητική εμπειρία συμμετέχει ενεργά στην παραγωγή της εξουσίας. Από αυτή την οπτική, το Lichtdom αποτελεί ένα πρώιμο και ακραίο παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο ο σχεδιασμός της ορατότητας μπορεί να μετατραπεί σε σχεδιασμό πολιτικών σχέσεων.



**Εικόνα 24.** *Lichtdom* (Καθεδρικός του Φωτός), Reichsparteitag, Νυρεμβέργη, 1936. Κατακόρυφες δέσμες αντιαεροπορικών προβολέων περιβάλλουν το Zeppelinfeld, συγκροτώντας τη μνημειακή φωτεινή εγκατάσταση που σχεδιάστηκε για τις ναζιστικές συγκεντρώσεις. Bundesarchiv / Scherl Bilddienst, 1936

Απέναντι σε αυτή τη χρήση του φωτός ως μέσου συγκρότησης, πειθάρχησης και ιδεολογικής ενοποίησης του πλήθους, οι σύγχρονες καλλιτεχνικές πρακτικές που εξετάζονται στη συνέχεια επιχειρούν να αντιστρέψουν τους ίδιους μηχανισμούς ορατότητας, χρησιμοποιώντας το φως όχι για να επιβάλουν μια ενιαία πολιτική τάξη αλλά για να αποκαλύψουν, να αμφισβητήσουν ή να αναδιαπραγματευτούν τις σχέσεις εξουσίας που καθορίζουν ποιος βλέπει, ποιος γίνεται ορατός και υπό ποιους όρους.

Οι Mezzadra και Neilson υποστηρίζουν ότι το σύνορο δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται μόνο ως σταθερή γεωγραφική γραμμή, αλλά ως μέθοδος παραγωγής διαφορών και ως σύνολο πρακτικών που μπορούν να εμφανίζονται σε πολλαπλά σημεία της κοινωνικής ζωής. Η σύγχρονη παγκοσμιοποίηση δεν έχει εξαλείψει τα σύνορα αλλά έχει πολλαπλασιάσει τις μορφές και τις λειτουργίες τους (Mezzadra & Neilson, 2013).

Η Border Art αναπτύσσεται μέσα σε αυτή την προβληματική, προσεγγίζοντας το σύνορο ως χωρικό και σωματικό καθεστώς. Αντί να περιορίζεται στην αναπαράσταση μιας γραμμής διαχωρισμού, μπορεί να εξετάζει την εμπειρία της μετάβασης, της αναμονής, της απαγόρευσης, της επιτήρησης και της ασύμμετρης κινητικότητας. Το μετακινούμενο σώμα δεν είναι απλώς εικονογραφικό θέμα αλλά σώμα που εισέρχεται σε μηχανισμούς ταξινόμησης, τεκμηρίωσης και ελέγχου. Η τέχνη της μετανάστευσης και των συνόρων μπορεί επομένως να επερωτά όχι μόνο ποιος αναπαρίσταται, αλλά και τα πολιτικά συστήματα που καθορίζουν τους όρους αυτής της αναπαράστασης (Demos, 2013; Mezzadra & Neilson, 2013).

Το *Border Tuner / Sintonizador Fronterizo* του Rafael Lozano-Hemmer, που πραγματοποιήθηκε το 2019 ανάμεσα στο El Paso του Texas και τη Ciudad Juárez του Mexico, αποτελεί ένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης του φωτός ως μέσου επαναδιαπραγμάτευσης του συνόρου. Έξι διαδραστικοί σταθμοί, τρεις σε κάθε πόλη, επέτρεπαν στους συμμετέχοντες να χειρίζονται ισχυρούς προβολείς. Όταν δύο φωτεινές δέσμες διασταυρώνονταν στον ουρανό, ενεργοποιούνταν ένα αμφίδρομο ηχητικό κανάλι, επιτρέποντας σε ανθρώπους στις δύο πλευρές να επικοινωνήσουν μεταξύ τους (Lozano-Hemmer, 2019).

Η πολιτική σημασία του έργου βρίσκεται στην αντιστροφή της συνηθισμένης λειτουργίας του searchlight. Ιστορικά, η έντονη κατευθυνόμενη δέσμη συνδέεται με τον στρατιωτικό εντοπισμό, την επιτήρηση, την περιφρούρηση και την αναζήτηση ενός στόχου. Στο *Border Tuner*, η ίδια τεχνολογική μορφή μετατρέπεται σε υποδομή επικοινωνίας. Το φως δεν απομονώνει ένα σώμα ως αντικείμενο παρατήρησης αλλά συνδέει δύο θέσεις και σηματοδοτεί τη δημιουργία ενός καναλιού αμοιβαίας ακρόασης. Το έργο δεν εξαφανίζει το σύνορο, αλλά καθιστά αισθητές τις κοινωνικές σχέσεις και τις αλληλεξαρτήσεις που ήδη το διασχίζουν (Lozano-Hemmer, 2019; Mezzadra & Neilson, 2013).



**Εικόνα 25.** *Border Tuner / Sintonizador Fronterizo* (2019), Rafael Lozano-Hemmer. Συμμετοχική φωτιστική εγκατάσταση στα σύνορα ΗΠΑ–Μεξικού, μεταξύ El Paso και Ciudad Juárez, όπου διασταυρούμενες δέσμες φωτός δημιουργούν «γέφυρες φωτός» και ενεργοποιούν κανάλια επικοινωνίας μεταξύ των δύο πλευρών. Rafael Lozano-Hemmer, *Border Tuner / Sintonizador Fronterizo*, 2019.



Η μετατροπή αυτή είναι σημαντική επειδή αποκαλύπτει ότι η τεχνολογία της ορατότητας δεν έχει μία εγγενή πολιτική λειτουργία. Το ίδιο τεχνικό μέσο μπορεί να ενταχθεί σε μηχανισμούς εντοπισμού και ελέγχου ή να ανασχεδιαστεί ως εργαλείο επικοινωνίας, συμμετοχής και αυτοπαρουσίασης. Το κρίσιμο στοιχείο βρίσκεται στο ποιος χειρίζεται την τεχνολογία, ποιος ορίζει τον σκοπό της και ποια σχέση εγκαθιστά ανάμεσα σε αυτόν που βλέπει και σε αυτόν που γίνεται ορατός. Η πολιτική του φωτός είναι επομένως πολιτική της σχέσης και όχι απλώς της φωτεινής έντασης (Brighenti, 2010; Lozano-Hemmer, 2019; Mirzoeff, 2011).

Το *ACCESS* (2003–) της Marie Sester είναι μια διαδραστική εγκατάσταση στον δημόσιο χώρο, στην οποία απομακρυσμένοι χρήστες του διαδικτύου μπορούν να επιλέξουν ένα ανώνυμο άτομο μέσα από εικόνα πραγματικού χρόνου, ενεργοποιώντας ένα σύστημα παρακολούθησης που το ακολουθεί αυτόματα με έναν ρομποτικό προβολέα. Παράλληλα, μια κατευθυντική ακουστική δέσμη μεταδίδει ήχους που είναι αντιληπτοί μόνο από το άτομο που βρίσκεται μέσα στον φωτεινό κώνο, χωρίς εκείνο να γνωρίζει ποιος το έχει επιλέξει ή για ποιο λόγο παρακολουθείται.

Το φως επομένως δεν λειτουργεί απλώς ως μέσο που καθιστά το σώμα ορατό, αλλά ως πράξη **στόχευσης**: απομονώνει ένα άτομο από το πλήθος, το μετατρέπει προσωρινά σε αντικείμενο δημόσιας προσοχής και καθιστά αισθητή την ασυμμετρία ανάμεσα σε εκείνον που παρατηρεί και σε εκείνον που παρατηρείται. Η αμφισημία ανάμεσα στην προβολή, τη διασημότητα, το παιχνίδι και την επιτήρηση αποτελεί κεντρικό στοιχείο του έργου, καθώς το «να βρεθεί κανείς στο φως» μπορεί να βιωθεί ταυτόχρονα ως αναγνώριση και ως απώλεια ελέγχου. Το *ACCESS* αναδεικνύει έτσι ένα κρίσιμο ζήτημα της πολιτικής ορατότητας: το πρόβλημα δεν είναι μόνο αν ένα σώμα φαίνεται, αλλά **ποιος ελέγχει το φως που το καθιστά ορατό και υπό ποιους όρους παράγεται αυτή η εμφάνιση**.



**Εικόνα 26.** *ACCESS* (2003), Marie Sester. Διαδραστική εγκατάσταση επιτήρησης και εντοπισμού, στην οποία ένας ρομποτικά ελεγχόμενος προβολέας ακολουθεί επιλεγμένα άτομα στον δημόσιο χώρο, μετατρέποντας το φως σε μηχανισμό εντοπισμού, έκθεσης και ελέγχου. Marie Sester, *ACCESS*, 2003.

Στο *Incoming* (2014–2017) του Richard Mosse, η σχέση ανάμεσα στο σώμα, το φως και την επιτήρηση μεταφέρεται έξω από το πεδίο του ορατού φωτός. Σε συνεργασία με τον κινηματογραφιστή Trevor Tweeten και τον συνθέτη Ben Frost, ο Mosse χρησιμοποίησε μια στρατιωτικού τύπου θερμογραφική κάμερα μεγάλης εμβέλειας, σχεδιασμένη για επιτήρηση, αναγνώριση και εντοπισμό στόχων, προκειμένου να καταγράψει τη μετακίνηση προσφύγων και μεταναστών στη Μέση Ανατολή, τη Βόρεια Αφρική και την Ευρώπη. Η κάμερα δεν καταγράφει το ορατό φως αλλά διαφορές στη θερμική ακτινοβολία, μετατρέποντας τα ανθρώπινα σώματα σε φωτεινές θερμικές μορφές και, όπως επισημαίνεται στην παρουσίαση του έργου, σε «βιολογικά ίχνη» ζωής. Η αισθητική αυτή αφαίρεση εξαλείφει χαρακτηριστικά όπως το χρώμα του δέρματος και πολλές ατομικές λεπτομέρειες, ενώ ταυτόχρονα αναπαράγει το βλέμμα μιας τεχνολογίας που έχει σχεδιαστεί για να ανιχνεύει ανθρώπινα σώματα από μεγάλη απόσταση.

Το φως —ή, ακριβέστερα, η μετατροπή της αόρατης υπέρυθρης ακτινοβολίας σε ορατή εικόνα— δεν λειτουργεί εδώ ως ουδέτερο μέσο αποκάλυψης, αλλά ως τεχνολογία που μεταφράζει τη ζωή σε μετρήσιμη πληροφορία. Σε σχέση με τη βιοφωταύγεια, το έργο προσφέρει μια ιδιαίτερα παραγωγική αντίστιξη: ενώ στο *Incoming* η φωτεινή εικόνα του σώματος παράγεται **εξωτερικά**, μέσω μιας μηχανής που ανιχνεύει και μεταφράζει το βιολογικό του ίχνος, στη βιοφωταύγεια το φως παράγεται **από την ίδια τη ζωντανή ύλη** ως απόκριση και σήμα. (Mosse, 2017; Downey, 2017).



**Εικόνα 27.** *Incoming* (2014–2017), Richard Mosse. Οπτική καταγραφή προσφύγων και μεταναστευτικών ροών μέσω τεχνολογίας θερμικής απεικόνισης, η οποία μετατρέπει το ανθρώπινο σώμα σε ανιχνεύσιμο θερμικό ίχνος. Φωτογραφία: David Gallard. CapitArt.



**Εικόνα 28.** *Grid (Moria)* (2017), Richard Mosse. Εγκατάσταση βίντεο 16 καναλιών, γυρισμένη στον προσφυγικό καταυλισμό της Μόριας στη Λέσβο με τη χρήση στρατιωτικής τεχνολογίας θερμικής απεικόνισης, η οποία καταγράφει τα ανθρώπινα σώματα ως θερμικά ίχνη. Richard Mosse. Courtesy of the artist, Jack Shainman Gallery and carlier | gebauer. *Brightening Air* / Coiscéim Coiligh.

Η βασική θέση της έρευνας είναι ότι το φως στην τέχνη της επιτήρησης δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται απλώς ως υλικό φωτισμού ή ως μεταφορά της γνώσης. Από τον ηλεκτρικό προβολέα και το searchlight έως το υπέρυθρο, τη θερμική απεικόνιση, το CCTV, το lidar/radar, την computer vision και το machine learning, το φως εντάσσεται σε μια αλυσίδα όπου η ορατότητα μπορεί να γίνει ανίχνευση, ταξινόμηση, ταυτοποίηση και τελικά πράξη πάνω σε ένα σώμα. Ο Foucault συνόψισε το πειθαρχικό πρόβλημα με τη διατύπωση ότι η πλήρης ορατότητα μπορεί να λειτουργεί ως παγίδα: η σύγχρονη μηχανική όραση προχωρά ακόμη περισσότερο, επειδή το υποκείμενο δεν χρειάζεται καν να είναι ορατό σε ανθρώπινο παρατηρητή για να είναι αναγνώσιμο σε έναν αισθητήρα.

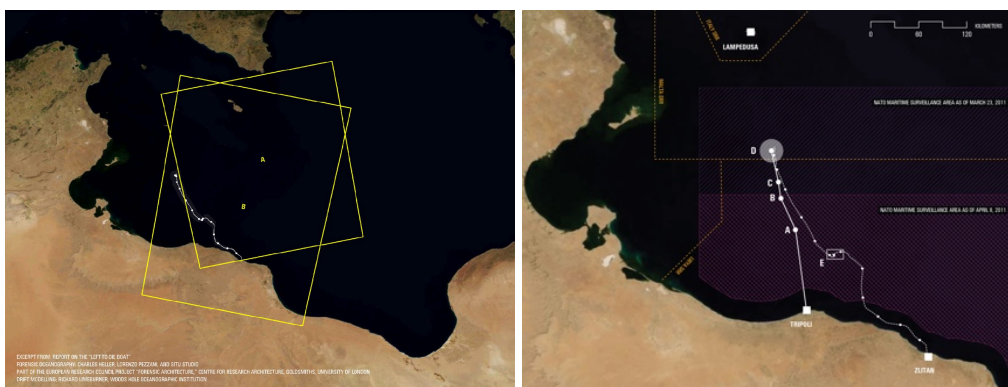
Από αυτή την άποψη, το σύνορο δεν είναι μόνο γραμμή, τείχος ή checkpoint. Είναι ένα κατανεμημένο αισθητηριακό περιβάλλον: κάμερες, ραντάρ, θερμικοί αισθητήρες, δορυφορικές εικόνες, βάσεις δεδομένων και μοντέλα ταξινόμησης παράγουν επιχειρησιακές μορφές ορατότητας.



## 2.2.4 Forensic aesthetics: ίχνος, περιβάλλον, μαρτυρία

Η Forensic Architecture μεταφέρει το ζήτημα της ορατότητας από το πεδίο της αναπαράστασης στο πεδίο της διερεύνησης. Οι μέθοδοι της συνδυάζουν αρχιτεκτονική ανάλυση, τρισδιάστατη μοντελοποίηση, βίντεο, φωτογραφίες, δορυφορικά δεδομένα, ηχητικές καταγραφές, μαρτυρίες και υλικό ανοιχτών πηγών για την ανασύνθεση γεγονότων που σχετίζονται με κρατική, στρατιωτική ή περιβαλλοντική βία. Η αισθητική δεν αντιμετωπίζεται εδώ ως διακοσμητικό επίπεδο της έρευνας, αλλά ως διαδικασία μέσω της οποίας ετερογενή ίχνη μπορούν να οργανωθούν σε μορφή που καθίσταται αντιληπτή και δημόσια συζητήσιμη (Schuppli, 2020; Weizman, 2017).

Η έννοια του forensic συνδέεται ετυμολογικά με το *forum*, δηλαδή τον χώρο όπου ένα τεκμήριο παρουσιάζεται μπροστά σε ένα κοινό και αποκτά πολιτική ή νομική σημασία. Το ίχνος δεν αποτελεί από μόνο του απόδειξη· χρειάζεται να εντοπιστεί, να αναλυθεί, να συσχετιστεί με άλλα δεδομένα και να μεταφραστεί σε μια μορφή που μπορεί να παρουσιαστεί και να αμφισβητηθεί (Schuppli, 2020; Weizman, 2017).



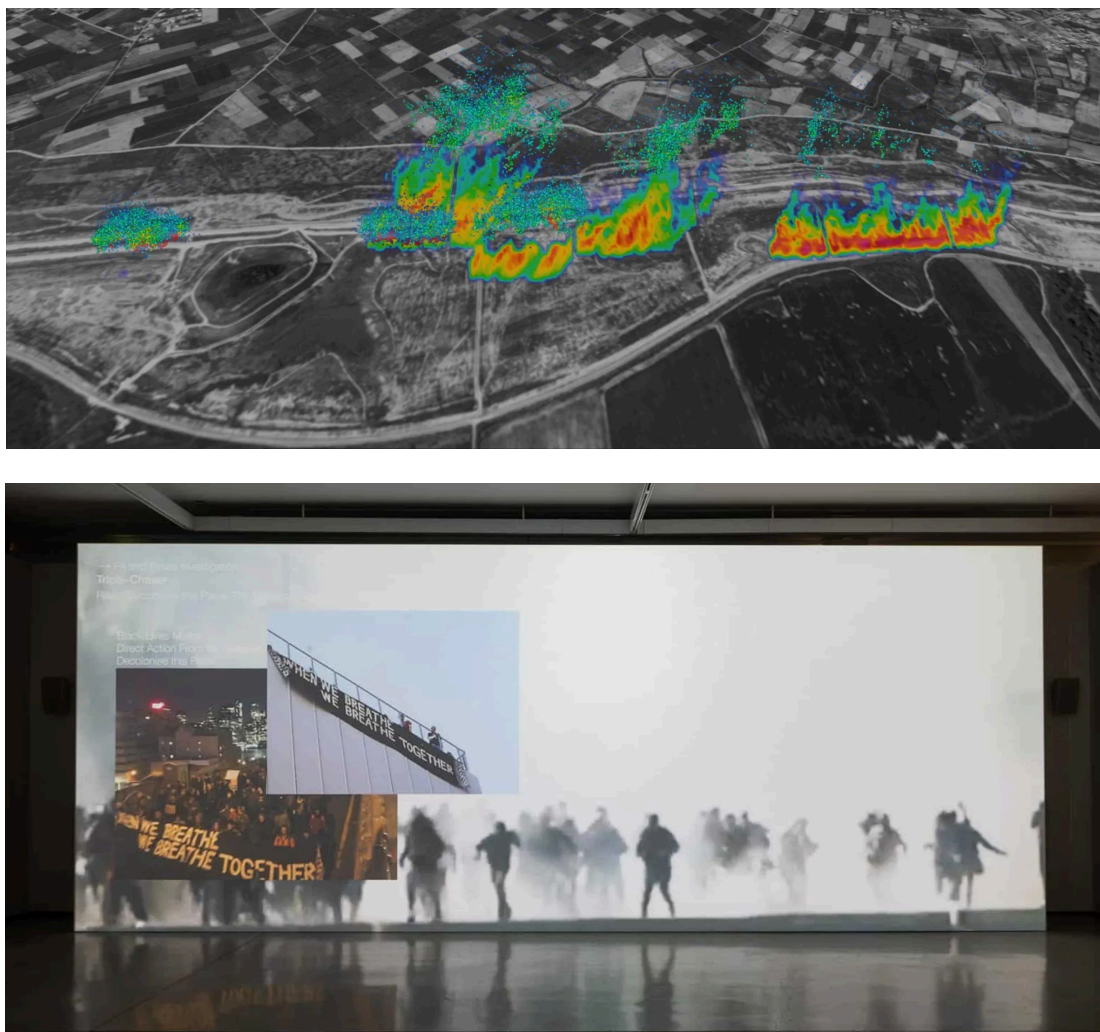
Εικόνα 29. Forensic Architecture. (2012). *The Left-to-Die Boat*.

Η Forensic Oceanography έχει εφαρμόσει αυτή τη λογική στο θαλάσσιο περιβάλλον. Στην έρευνα *Liquid Traces: The Left-to-Die Boat Case*, οι Charles Heller και Lorenzo Pezzani ανασύνθεσαν την πορεία μιας βάρκας μεταναστών που παρέμεινε για ημέρες ακυβέρνητη στη Μεσόγειο το 2011. Η έρευνα συνδύασε μαρτυρίες επιζώντων με ναυτικά και τηλεπικοινωνιακά δεδομένα, δορυφορικές εικόνες και μοντέλα του ανέμου και των θαλάσσιων ρευμάτων, καθιστώντας δυνατό τον υπολογισμό της κίνησης της βάρκας μέσα σε μια περιοχή εντατικής στρατιωτικής επιτήρησης (Heller & Pezzani, 2014).

Η περίπτωση αυτή αποκαλύπτει μια θεμελιώδη διάκριση ανάμεσα στην εντοπισιμότητα και στην πολιτική αναγνώριση. Η ύπαρξη τεχνολογιών που επιτρέπουν σε ένα σώμα ή ένα σκάφος να καταγραφεί δεν εγγυάται ότι η καταγραφή αυτή θα οδηγήσει σε προστασία ή επέμβαση. Ένα υποκείμενο μπορεί να βρίσκεται εντός ενός πυκνού δικτύου αισθητήρων και ταυτόχρονα να εγκαταλείπεται. Η ορατότητα μετατρέπεται έτσι σε βιοπολιτικό ζήτημα: το κρίσιμο δεν είναι μόνο αν μια ζωή μπορεί να εντοπιστεί, αλλά αν η εντοπισιμότητά της δημιουργεί θεσμική υποχρέωση απέναντί της (Heller & Pezzani, 2014; Mbembe, 2003).

Η Susan Schuppli διευρύνει αυτή την προβληματική με την έννοια του *material witness*. Η ύλη μπορεί να λειτουργεί ως μάρτυρας επειδή οι φυσικές και τεχνικές διαδικασίες αφήνουν πάνω της εγγραφές γεγονότων. Ένα υλικό ίχνος μπορεί να προκύπτει σε μια εικόνα, στο έδαφος, σε ένα αρχιτεκτονικό στοιχείο, σε μια ατμοσφαιρική μεταβολή ή σε ένα τεχνικό σύστημα καταγραφής. Ωστόσο, η μαρτυρία δεν είναι αυτόματη ιδιότητα της ύλης: εξαρτάται από τις μεθόδους που επιτρέπουν την αποκωδικοποίησή της και από τους θεσμούς που αποφασίζουν αν αυτή η πληροφορία θα αναγνωριστεί ως γνώση ή απόδειξη (Schuppli, 2020).

Το *Cloud Studies* της Forensic Architecture επεκτείνει αυτή τη λογική προς ένα από τα πιο δύσκολα υλικά αντικείμενα: την ατμόσφαιρα. Το project εξετάζει διαφορετικές μορφές «αερομεταφερόμενης βίας», όπως δακρυγόνα, χημικές ουσίες, βιομηχανικές εκπομπές και τοξικά νέφη. Το νέφος αποτελεί ταυτόχρονα αντικείμενο που μπορεί να μετρηθεί από έξω και περιβαλλοντική συνθήκη που βιώνεται από μέσα, όπου η όραση μπορεί να θολώνει και τα όρια μεταξύ σώματος και περιβάλλοντος να γίνονται ασταθή. Η ατμόσφαιρα μετατρέπεται έτσι από φαινομενικά άμορφο φόντο σε υλικό και πολιτικό πεδίο (Forensic Architecture, 2020).



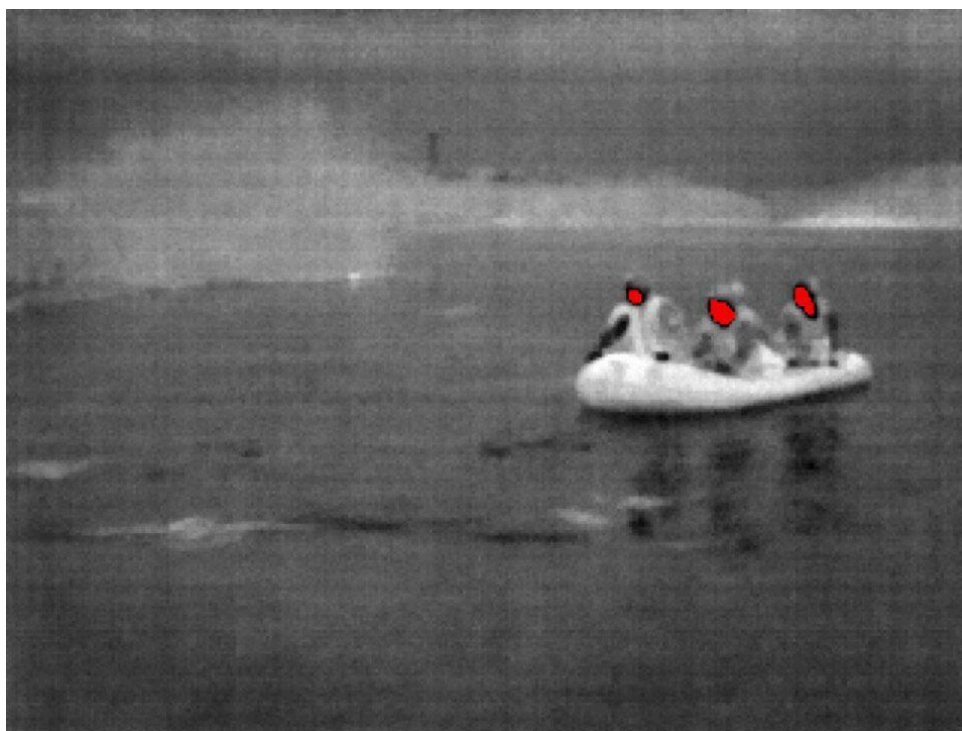
**Εικόνα 30.** *Cloud Studies* (2020), Forensic Architecture. Οπτικοακουστική εγκατάσταση που διερευνά τη χρήση τοξικών νεφών και την ατμοσφαιρική βία ως μέσα άσκησης κρατικής και εταιρικής ισχύος. Forensic Architecture, *Cloud Studies*, 2020. Ars Electronica.



Το ενδιαφέρον του *Cloud Studies* έγκειται επίσης στο ότι συνδέει την οικολογική και τη forensic σκέψη. Οι ρύποι και τα τοξικά νέφη δεν διακρίνουν καθαρά ανάμεσα σε σώμα και περιβάλλον: εισπνέονται, μετακινούνται, κατακάθονται και μεταβάλλουν τις συνθήκες ζωής. Η πολιτική βία μπορεί επομένως να εγγράφεται όχι μόνο σε κτίρια ή τραυματισμένα σώματα αλλά στον ίδιο τον αέρα. Το περιβάλλον παύει να είναι απλώς η σκηνή ενός συμβάντος και γίνεται ενεργό υλικό της έρευνας, αποκαλύπτοντας τη στενή σύνδεση ανάμεσα στην περιβαλλοντική δικαιοσύνη και στην πολιτική της ορατότητας (Demos, 2017; Forensic Architecture, 2020; Schuppli, 2020).

Από τη σκοπιά αυτή, η εικόνα, το φως και το περιβάλλον δεν αποτελούν ουδέτερα μέσα που απλώς καταγράφουν μια ήδη δεδομένη πραγματικότητα. Συμμετέχουν στην παραγωγή του τι μπορεί να γίνει αντιληπτό και γνωστό. Μια σκιά σε ένα βίντεο μπορεί να επιτρέψει τον υπολογισμό μιας χρονικής στιγμής, μια αλλαγή στην ατμόσφαιρα μπορεί να αποκαλύψει τη χρήση συγκεκριμένης ουσίας, ενώ η απουσία μιας εικόνας μπορεί επίσης να αποτελέσει στοιχείο έρευνας. Η forensic αισθητική μετατρέπει έτσι το ορατό, το αόρατο και το ελάχιστο ορατό σε διαφορετικές κατηγορίες πολιτικής γνώσης (Schuppli, 2020; Weizman, 2017).

Ποιος παράγει την εικόνα; Ποιος έχει πρόσβαση στα δεδομένα; Ποιος μπορεί να παραμείνει αδιαφανής; Ποια ίχνη αναγνωρίζονται ως μαρτυρία και ποια παραμένουν αδιάβαστα; Το φως λειτουργεί μέσα σε αυτό το πλαίσιο όχι απλώς ως φυσικό φαινόμενο αλλά ως πολιτικό μέσο που μπορεί να αποκαλύπτει, να κατηγοριοποιεί, να συνδέει, να προστατεύει ή να εκθέτει (Brighenti, 2010; Glissant, 1997; Mirzoeff, 2011).



**Εικόνα 31.** Θερμική απεικόνιση μικρού σκάφους στη Μεσόγειο μέσω υπέρυθρης επιτήρησης. Από *Detection of Inflatable Boats and People in Thermal Infrared with Deep Learning Methods*, 2021, ResearchGate

## 2.3 Από την κριτική στη σχεδιαστική διερεύνηση

Η μετατόπιση προς τον κριτικό σχεδιασμό διευρύνει τον ρόλο του design πέρα από την παραγωγή λειτουργικών αντικειμένων και την επίλυση ήδη διατυπωμένων προβλημάτων. Στο critical design, το σχεδιασμένο αντικείμενο, η εικόνα ή το περιβάλλον μπορούν να λειτουργήσουν ως μέσα διερεύνησης των αξιών και των κοινωνικών υποθέσεων που ενσωματώνονται στις υπάρχουσες τεχνολογίες και πρακτικές. Αντί να αποδέχεται ως δεδομένο ότι ο σχεδιασμός πρέπει να βελτιστοποιεί τη χρηστικότητα ή την εμπορική αποτελεσματικότητα ενός συστήματος, η κριτική σχεδιαστική πρακτική μπορεί να στρέφεται στους ίδιους τους όρους με τους οποίους ένα πρόβλημα έχει οριστεί. Η λειτουργία του αντικειμένου γίνεται έτσι και ερωτηματική: ποια ανάγκη θεωρείται αυτονόητη, ποιος την ορίζει και ποιες κοινωνικές σχέσεις ενισχύονται από μια συγκεκριμένη σχεδιαστική επιλογή (Dunne & Raby, 2013; Malpass, 2017).

Ο κριτικός σχεδιασμός κινείται σε συγγενές πεδίο, χρησιμοποιώντας πιθανά ή υποθετικά σενάρια για να δημιουργήσει απόσταση από όσα στο παρόν παρουσιάζονται ως αυτονόητα ή αναπόφευκτα. Τα speculative αντικείμενα δεν χρειάζεται να αποτελούν προβλέψεις ούτε ολοκληρωμένες προτάσεις για ένα μελλοντικό προϊόν. Μπορούν να λειτουργούν ως υλικές υποθέσεις που καθιστούν προσωρινά αντιληπτή μια διαφορετική κοινωνική ή τεχνολογική συνθήκη και επιτρέπουν να εξεταστούν οι συνέπειές της.

Ο Auger (2013) υποστηρίζει ότι η σχεδιαστική εικασία χρειάζεται να διατηρεί μια «αντιληπτική γέφυρα» με το αναγνωρίσιμο παρόν: να είναι αρκετά οικεία ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή και ταυτόχρονα αρκετά μετατοπισμένη ώστε να διαταράσσει τις υπάρχουσες προσδοκίες. Το speculative design μπορεί επομένως να θέτει όχι μόνο το ερώτημα αν μια τεχνολογία είναι εφικτή, αλλά και τι είδους κόσμο προϋποθέτει ή παράγει η χρήση της (Auger, 2013; Dunne & Raby, 2013).

Η δυνατότητα αυτή δεν είναι πολιτικά ουδέτερη. Η κριτική προς το critical και speculative design έχει επισημάνει ότι η δυνατότητα να φαντάζεται κανείς εναλλακτικά ή δυστοπικά μέλλοντα εξαρτάται από τη θέση από την οποία πραγματοποιείται η εικασία. Η Prado de O. Martins (2014), για παράδειγμα, έχει επισημάνει την περιορισμένη αντιμετώπιση ζητημάτων φύλου, προνομίου και καταπίεσης σε σημαντικό μέρος της speculative design πρακτικής. Αντίστοιχα, το design justice μεταφέρει την προσοχή από το αντικείμενο προς τις σχέσεις εξουσίας της ίδιας της διαδικασίας σχεδιασμού: ποιος σχεδιάζει, ποιος συμμετέχει στις αποφάσεις και ποιος υφίσταται τις συνέπειές τους (Costanza-Chock, 2020).

Ο Escobar (2018) αμφισβητεί επίσης την ιδέα ενός ενιαίου καθολικού μέλλοντος, προτείνοντας μια σχεσιακή και pluriversal αντίληψη του design. Για μια έρευνα που εμπλέκεται με σύνορα, επιτήρηση και άνισες συνθήκες ορατότητας, αυτή η κριτική είναι ουσιαστική: η πολιτική βία δεν μπορεί να λειτουργεί απλώς ως αισθητικό σκηνικό ενός υποθετικού σεναρίου, αλλά χρειάζεται να παραμένει συνδεδεμένη με τις πραγματικές δομές που την παράγουν.

Στην παρούσα έρευνα, η βιοφωταύγεια αποκτά ενδιαφέρον ακριβώς μέσα από αυτή τη δυνατότητα του σχεδιασμού να μετατρέπει μια έννοια σε υλική συνθήκη διερεύνησης. Αυτή η σχέση γίνεται εμφανής στην έρευνα των Netta Ofer, Fiona Bell και Mirela Alistar με

βιοφωταυγή δινομαστιγωτά. Στο *Designing Direct Interactions with Bioluminescent Algae* (2021), οι ερευνήτριες διερεύνησαν άμεσες κινητικές αλληλεπιδράσεις όπου η φυσική διέγερση των οργανισμών παράγει ορατή φωτεινή απόκριση. Η προσέγγισή τους χαρακτηρίζεται ως *organism-centered*: αντί να ξεκινούν από την επιθυμητή ανθρώπινη αλληλεπίδραση και να προσαρμόζουν τον οργανισμό σε αυτήν, σχεδιάζουν αρχικά ένα κατάλληλο περιβάλλον για τη διατήρησή του και στη συνέχεια εξετάζουν ποιες μορφές ανθρώπινης αλληλεπίδρασης είναι δυνατές μέσα σε αυτό (Ofer, Bell, & Alistar, 2021). Η μετατόπιση αυτή είναι σημαντική, επειδή ο οργανισμός δεν αντιμετωπίζεται ως παθητικός αισθητήρας ή φωτεινό εξάρτημα αλλά ως παράγοντας *whose* ανάγκες και όρια συμμετέχουν στον σχεδιασμό.

Η σχεδίαση με ζωντανά υλικά, όπως στη βιοφωταύγεια, μεταβάλλει και τον τρόπο με τον οποίο νοείται η υλικότητα. Η βιβλιογραφία γύρω από το *Growing Design* δείχνει ότι όταν ένα υλικό παράγεται ή διαμορφώνεται μέσω ζωντανών οργανισμών, ιδιότητες όπως η ανάπτυξη, η χρονικότητα και η μεταβλητότητα εισέρχονται στην ίδια τη σχεδιαστική διαδικασία. Ο σχεδιαστής δεν καθορίζει πλέον εξ ολοκλήρου ένα τελικό και σταθερό αποτέλεσμα, αλλά εργάζεται μέσα σε ένα σύστημα βιολογικών δυνατοτήτων και περιορισμών (Camere & Karana, 2018; Karana et al., 2018).

Η υλική διερεύνηση συνδέεται εδώ με το *research through design*, δηλαδή με την ιδέα ότι ο σχεδιασμός μπορεί να αποτελεί ο ίδιος μέρος της ερευνητικής διαδικασίας. Ο Frayling (1994) διακρίνει την έρευνα *into*, *for* και *through* art and design, ανοίγοντας τον δρόμο για την κατανόηση της δημιουργικής πρακτικής ως τρόπου παραγωγής γνώσης. Οι Zimmerman, Forlizzi και Evenson (2007) αναπτύσσουν αυτή την προσέγγιση, υποστηρίζοντας ότι η κατασκευή και η δοκιμή σχεδιαστικών αντικειμένων μπορούν να συμβάλλουν άμεσα στην έρευνα. Ο Gaver (2012) σημειώνει ότι η γνώση που προκύπτει από τέτοιες διαδικασίες δεν χρειάζεται να οδηγεί σε γενικούς κανόνες, αλλά μπορεί να αφορά συγκεκριμένες περιπτώσεις και να παραμένει ανοιχτή σε διαφορετικές ερμηνείες.

Σε συνέχεια της προηγούμενης ανάλυσης της ορατότητας ως πεδίου πολιτικής σχέσης, το ζητούμενο μετατοπίζεται επομένως από την ερμηνεία των υπαρχόντων καθεστώτων ορατότητας προς τη δυνατότητα σχεδιαστικής δοκιμής διαφορετικών όρων εμφάνισης. Αν η ορατότητα συγκροτείται μέσα από συγκεκριμένες σχέσεις ανάμεσα σε σώματα, τεχνολογίες και μορφές εξουσίας, όπως υποδεικνύουν οι Brighenti (2010) και Mirzoeff (2011), τότε το *design* μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο για να μεταβάλει προσωρινά αυτές τις σχέσεις και να εξετάσει τις συνέπειές τους. Στην περίπτωση της βιοφωταύγειας, το ερώτημα δεν είναι συνεπώς πώς μπορεί να παραχθεί περισσότερο, ισχυρότερο ή αποτελεσματικότερο φως, αλλά τι συμβαίνει όταν η φωτεινή εμφάνιση γίνεται περιορισμένη, προσωρινή, αποκρινόμενη και εξαρτημένη από ένα συμβάν.

### 3. Σχεδιασμός Πρωτότυπου Πειραματικού Έργου

#### Ceasefire! — Βιοφωταυγές Σωσίβιο Γιλέκο

##### 3.1 Περιγραφή ιδέας, εννοιολογική σύλληψη και μεθοδολογία

Το *Ceasefire!* αποτελεί το εφαρμοσμένο σκέλος της παρούσας έρευνας και αναπτύσσεται ως φορετό εικαστικό-ερευνητικό πρωτότυπο. Αφετηρία του αποτελεί το σωσίβιο γιλέκο, ένα αντικείμενο άμεσα συνδεδεμένο με την προστασία της ζωής σε συνθήκες θαλάσσιου κινδύνου, το οποίο στο πλαίσιο των μετακινήσεων στη Μεσόγειο αποκτά επιπλέον τη σημασία υλικού ίχνους. Η σχεδιαστική πρόταση αξιοποιεί αυτή τη διττή υπόσταση χωρίς να επιχειρεί να δημιουργήσει νέο σωστικό εξοπλισμό. Το σωσίβιο χρησιμοποιείται ως αναγνωρίσιμη τυπολογία πάνω στην οποία μπορεί να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα στο σώμα, το ζωντανό φως και την πολιτική διάσταση της ορατότητας.

Ο τίτλος *Ceasefire!* συγκροτεί τον βασικό εννοιολογικό άξονα του έργου. Η λέξη παραπέμπει στην προσωρινή αναστολή μιας κατάστασης σύγκρουσης και χρησιμοποιείται εδώ μεταφορικά για να περιγράψει την ανάγκη ενός σώματος να δηλώσει μια στιγμή παύσης μέσα σε ένα περιβάλλον έντασης και έκθεσης. Στο υποθετικό σενάριο του έργου, το φορετό λειτουργεί ως ένα σωματικό σήμα αυτής της ανάγκης. Η έννοια της εκεχειρίας συνδέεται παράλληλα με τη χρονικότητα της βιοφωταύγειας: το φως δεν είναι διαρκές, αλλά εμφανίζεται στιγμιαία ως απόκριση σε μηχανική διατάραξη και στη συνέχεια υποχωρεί. Η βιολογική αυτή συμπεριφορά δεν ταυτίζεται με την κοινωνική ή πολιτική βία: παρέχει όμως το μοντέλο μιας φωτεινής εμφάνισης που ενεργοποιείται υπό συνθήκες έντασης.



**Εικόνα 32.** Επιχείρηση διάσωσης στη Μεσόγειο, 11 Νοεμβρίου 2020. Άνθρωποι στο νερό μετά τη βύθιση φουσκωτού σκάφους περίπου 30 ναυτικά μίλια βόρεια της Sabratha, Λιβύη, κατά τη διάρκεια επιχείρησης των Open Arms και EMERGENCY. EMERGENCY USA, 2020.

Το έργο μεταφέρει επομένως μια ιδιότητα της βιοφωταύγειας από το βιολογικό στο σχεδιαστικό πεδίο. Όπως σε ορισμένους οργανισμούς η παραγωγή φωτός συμμετέχει στη

ρύθμιση της σχέσης τους με το περιβάλλον, έτσι και στο *Ceasefire!* το φως εξετάζεται ως μέσο με το οποίο το ανθρώπινο σώμα θα μπορούσε να σηματοδοτήσει την κατάστασή του. Η πρόταση δεν αποσκοπεί στη μέγιστη δυνατή φωτεινότητα ούτε στη δημιουργία ενός σταθερού σήματος. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στην παροδική εμφάνιση ενός ασθενούς φωτεινού ίχνους και στην επικοινωνιακή σημασία που μπορεί να αποκτήσει.

Η ανάπτυξη του πρωτοτύπου ακολουθεί προσέγγιση *research through design*. Η σχεδιαστική πράξη χρησιμοποιείται ως μέσο διερεύνησης του αρχικού ερωτήματος και όχι απλώς ως τρόπος παραγωγής ενός τελικού αντικειμένου. Η διαδικασία συνδυάζει την εννοιολογική επεξεργασία, την πειραματική παρατήρηση της βιοφωταύγειας και την ανάπτυξη της φορετής κατασκευής. Τα επιμέρους στάδια αλληλοτροφοδοτούνται, ώστε τα χαρακτηριστικά του ζωντανού υλικού να επηρεάζουν τον σχεδιασμό και οι απαιτήσεις της μορφής να επαναπροσδιορίζουν τα ζητήματα που εξετάζονται πειραματικά. Η speculative διάσταση του έργου εντοπίζεται ακριβώς σε αυτή τη χρήση του πρωτοτύπου ως ερευνητικού ερωτήματος και όχι ως πρότασης άμεσης εφαρμογής.



### 3.2 Το σώμα ως φορητό τοπίο: φως, σώμα, τόπος



**Εικόνα 33.** Διάσωση μετανάστη στη Μεσόγειο, 6 Νοεμβρίου 2017. Άνδρας προσπαθεί να παραμείνει στην επιφάνεια της θάλασσας κατά τη διάρκεια επιχείρησης διάσωσης της γερμανικής ΜΚΟ Sea-Watch, περίπου 30 ναυτικά μίλια από τις ακτές της Τρίπολης. Ο άνδρας διασώθηκε από το πλήρωμα του Sea-Watch 3. Alessio Paduano / AFP. BBC News, 2017

Το σώμα δεν λειτουργεί απλώς ως βάση πάνω στην οποία τοποθετείται ένα φορητό αντικείμενο. Αποτελεί το σημείο όπου το έργο αποκτά χώρο, κίνηση και φωτεινή παρουσία. Σε αντίθεση με μια σταθερή εγκατάσταση, το γιλέκο μετακινείται μαζί με το σώμα, αλλάζει θέση και προσανατολισμό και γίνεται αντιληπτό διαφορετικά ανάλογα με την απόσταση, τη στάση και τις συνθήκες φωτισμού. Με αυτή την έννοια, το σώμα προσεγγίζεται ως φορητό τοπίο: όχι επειδή αναπαριστά ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό τοπίο, αλλά επειδή μεταφέρει μαζί του σχέσεις τόπου, κίνησης, μνήμης και έκθεσης.

Η έννοια αυτή συνδέεται με τη φαινομενολογική κατανόηση του σώματος. Για τον Merleau-Ponty, το σώμα δεν είναι απλώς ένα αντικείμενο τοποθετημένο μέσα στον χώρο, αλλά ο τρόπος μέσω του οποίου ο κόσμος γίνεται αντιληπτός και βιώνεται. Η θέση, η κίνηση και ο προσανατολισμός του σώματος οργανώνουν τη σχέση μας με όσα βρίσκονται γύρω μας (Merleau-Ponty, 2012). Στο Ceasefire! το φως συνδέεται με αυτή την ενσώματη εμπειρία: δεν φωτίζει ένα ακίνητο αντικείμενο από έξω, αλλά φέρεται πάνω σε ένα σώμα που κινείται, στρέφεται, πλησιάζει και απομακρύνεται.

Αντίστοιχα, ο Ingold αντιμετωπίζει το περιβάλλον όχι ως στατικό σκηνικό αλλά ως πεδίο σχέσεων που διαμορφώνονται μέσα από την κατοίκηση και την κίνηση (Ingold, 2000). Από αυτή την οπτική, το τοπίο δεν είναι μόνο κάτι που παρατηρείται από απόσταση. Παράγεται μέσα από τις διαδρομές, τις χρονικότητες και τις αλληλεπιδράσεις των σωμάτων που το κατοικούν. Το Ceasefire! μεταφέρει αυτή τη σχέση σε μικρότερη και φορητή κλίμακα. Το έργο δεν τοποθετείται απλώς σε έναν χώρο· κινείται μέσα σε αυτόν και μεταβάλλει τη σχέση ανάμεσα στο σώμα και στο περιβάλλον του.

Η κίνηση αποκτά εδώ ιδιαίτερη σημασία. Ο Cresswell (2006) έχει δείξει ότι η κινητικότητα δεν αποτελεί ουδέτερη φυσική πράξη: διαφορετικά σώματα δεν έχουν την ίδια δυνατότητα να μετακινούνται, να διασχίζουν χώρους ή να παραμένουν σε αυτούς. Η κίνηση μπορεί να

διευκολύνεται, να περιορίζεται ή να ελέγχεται ανάλογα με το κοινωνικό και πολιτικό πλαίσιο. Η διάσταση αυτή συνδέεται άμεσα με το Ceasefire!, καθώς η μορφή του σωσιβίου παραπέμπει σε ένα σώμα που βρίσκεται σε κίνηση μέσα σε ένα θαλάσσιο και συνοριακό περιβάλλον. Το φορητό τοπίο δεν είναι επομένως μόνο κινούμενος χώρος· είναι χώρος του οποίου η δυνατότητα μετακίνησης εξαρτάται από εξωτερικούς όρους.

Η Sara Ahmed προσεγγίζει αντίστοιχα τον χώρο μέσα από την έννοια του προσανατολισμού. Τα σώματα κατευθύνονται προς αντικείμενα, διαδρομές και δυνατότητες, ενώ ο τρόπος με τον οποίο είναι οργανωμένος ο χώρος καθορίζει τι βρίσκεται κοντά τους, τι μπορούν να προσεγγίσουν και ποιοι δρόμοι είναι διαθέσιμοι σε αυτά (Ahmed, 2006). Στο Ceasefire! ο προσανατολισμός αποκτά και φωτεινή διάσταση. Καθώς το σώμα μετακινείται, μετακινείται μαζί του και η φωτεινή του παρουσία. Το φως δεν ορίζει έναν σταθερό τόπο στον χώρο αλλά δημιουργεί μια προσωρινή ζώνη γύρω από το κινούμενο σώμα.

Η φορητή μορφή επιτρέπει επίσης να διαβαστεί το γιλέκο ως ένα είδος μικρο-αρχιτεκτονικής του σώματος. Βρίσκεται ανάμεσα στο σώμα και στο εξωτερικό περιβάλλον, δημιουργώντας ένα προσωρινό περίβλημα γύρω από τον κορμό. Η Grosz (2001) εξετάζει την αρχιτεκτονική και το σώμα ως πεδία που δεν μπορούν να διαχωριστούν πλήρως, καθώς ο χώρος βιώνεται μέσα από σωματικές κινήσεις, χρονικότητες και όρια. Στην περίπτωση του Ceasefire!, το περίβλημα αυτό διατηρεί την αναφορά στην προστατευτική μορφή του σωσιβίου, χωρίς όμως να προσφέρει πραγματική μηχανική προστασία. Αντί για ένα κλειστό και ασφαλές κέλυφος, προτείνεται μια πιο διαπερατή επιφάνεια, μέσα από την οποία μπορεί να εμφανίζεται ένα αδύναμο και μεταβαλλόμενο φως.

Η σχέση αυτή γίνεται ακόμη πιο σύνθετη όταν στο φορητό αντικείμενο εισάγεται ζωντανό υλικό. Η βιοφωταύγεια δεν παράγεται αποκλειστικά από τον σχεδιαστή ή από το ανθρώπινο σώμα, αλλά εξαρτάται από τη δραστηριότητα των οργανισμών, τις συνθήκες του περιβάλλοντος, το σκοτάδι και τη μηχανική διέγερση. Η Haraway χρησιμοποιεί την έννοια της *sympoiesis* —του «making-with»— για να περιγράψει μορφές δημιουργίας που προκύπτουν μέσα από σχέσεις και όχι από ένα αυτόνομο υποκείμενο (Haraway, 2016). Αντίστοιχα, η Bennett (2010) στρέφει την προσοχή στη συμμετοχή μη ανθρώπινων υλικών και δυνάμεων στην παραγωγή ενός γεγονότος. Στο Ceasefire! η φωτεινή εμφάνιση μπορεί να διαβαστεί μέσα από αυτή τη σχέση: δεν ανήκει αποκλειστικά στο σώμα, στο αντικείμενο ή στον οργανισμό, αλλά παράγεται από τη συνάντησή τους.

Το σώμα ως φορητό τοπίο συνδέει έτσι διαφορετικές κλίμακες. Στη μικροκλίμακα βρίσκονται οι βιολογικές διεργασίες που παράγουν το φως. Στην κλίμακα του σώματος βρίσκονται η κίνηση, η αναπνοή, η φορητότητα και η σχέση του γιλέκου με τον κορμό. Σε μεγαλύτερη κλίμακα βρίσκονται η θάλασσα, το σύνορο και τα πολιτικά συστήματα που καθορίζουν διαφορετικές δυνατότητες μετακίνησης και προστασίας. Το Ceasefire! επιχειρεί να φέρει αυτές τις κλίμακες σε σχέση χωρίς να τις ταυτίσει. Το γιλέκο παραπέμπει στη θάλασσα χωρίς να την αναπαριστά, στο σύνορο χωρίς να κατασκευάζει μια κυριολεκτική εικόνα του και στη βιολογική ζωή χωρίς να αντιμετωπίζει τον ζωντανό οργανισμό ως απλό τεχνικό εξάρτημα.

Η επιλογή μιας έμμεσης σχέσης με το σύνορο είναι σημαντική και για τον τρόπο παρουσίασης του έργου. Το Ceasefire! δεν επιχειρεί να αναπαραστήσει ένα συγκεκριμένο προσφυγικό ή μεταναστευτικό σώμα ούτε να αναπαράγει σκηνές κινδύνου και απώλειας. Αντίθετα, χρησιμοποιεί στοιχεία που φέρουν ήδη αυτές τις συσχετίσεις —τη μορφή του

σωσιβίου, τη φορετότητα, το σκοτάδι και το παροδικό φωτεινό ίχνος— ώστε να θέσει το ερώτημα χωρίς να μετατρέψει την εμπειρία της βίας σε εικόνα προς κατανάλωση.

**Το «φορητό τοπίο» αποτελεί επομένως τον τρόπο με τον οποίο το Ceasefire! συνδέει το σώμα με τον τόπο χωρίς να τα αντιμετωπίζει ως δύο ξεχωριστές οντότητες. Ο τόπος μεταφέρεται μέσα από το σώμα και το σώμα μεταβάλλει τον τόπο μέσα από την κίνηση και την παρουσία του.** Το βιοφωταυγές φως προσθέτει σε αυτή τη σχέση μια χρονική διάσταση: εμφανίζεται, εξασθενεί και επανενεργοποιείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Το φορητό τοπίο δεν είναι επομένως σταθερό. Υπάρχει όσο το σώμα κινείται, όσο το περιβάλλον το επηρεάζει και όσο η ζωντανή διαδικασία επιτρέπει στο φως να εμφανιστεί.

Ο όρος «φορητό τοπίο» δεν χρησιμοποιείται μεταφορικά μόνο για να περιγράψει τη μετακίνηση του σώματος. Δηλώνει μια μεταβαλλόμενη συνάθροιση σώματος, μνήμης, αντικειμένων, περιβαλλοντικών συνθηκών και πολιτικών ορίων, η οποία μεταφέρεται και αναδιαμορφώνεται μέσα από την κίνηση. Στο Ceasefire!, το φορητό αντικείμενο καθιστά αυτή τη συνάθροιση προσωρινά ορατή, χωρίς να την παγιώνει σε μία ενιαία αναπαράσταση.

### 3.3 Πειραματική μεθοδολογία

#### 3.3.1 Φωτομετρική και φωτογραφική καταγραφή της βιοφωταύγειας

Η πειραματική μεθοδολογία του έργου εστιάζει στη φωτομετρική και φωτογραφική καταγραφή της βιοφωταύγειας, με σκοπό την κατανόηση της ποιότητας, της έντασης, της αστάθειας και των περιορισμών της ως ζωντανού φωτεινού μέσου. Η διαδικασία δεν αποσκοπεί στην απόδειξη της λειτουργικής επάρκειας της βιοφωταύγειας ως συμβατικής πηγής φωτισμού, αλλά στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο ένα χαμηλής έντασης, οργανικό και χρονικά εξαρτημένο φως μπορεί να παρατηρηθεί, να μετρηθεί και να τεκμηριωθεί. Η βιοφωταύγεια, ιδιαίτερα σε θαλάσσιους οργανισμούς όπως τα δινομαστιγωτά, συνδέεται με βιοχημικές διεργασίες, περιβαλλοντικές συνθήκες και συχνά με μηχανική ή υδροδυναμική διέγερση, γεγονός που την καθιστά ένα μέσο διαφορετικό από τις σταθερές και ελεγχόμενες φωτεινές πηγές του συμβατικού σχεδιασμού φωτισμού (Haddock, Moline, & Case, 2010; Latz et al., 2004; Widder, 2010).

Για την πειραματική διερεύνηση χρησιμοποιείται φωτογραφική μηχανή DSLR και φωτόμετρο ακριβείας. Η χρήση του φωτόμετρου επιτρέπει την ποσοτική καταγραφή της φωτεινής απόκρισης υπό συγκεκριμένες και επαναλήψιμες συνθήκες, ενώ η DSLR επιτρέπει την οπτική τεκμηρίωση του φαινομένου μέσα από διαφορετικές ρυθμίσεις έκθεσης. Η συνδυαστική χρήση των δύο μέσων είναι σημαντική, διότι η βιοφωταύγεια δεν είναι μόνο μετρήσιμο φωτομετρικό φαινόμενο, αλλά και εμπειρία οπτικής αντίληψης που εξαρτάται από το σκοτάδι, τον χρόνο έκθεσης, την ευαισθησία του αισθητήρα και την προσαρμογή του ανθρώπινου βλέμματος. Η πειραματική καταγραφή βασίζεται επομένως στη διάκριση ανάμεσα στη μέτρηση του φωτός και στη φωτογραφική του αναπαράσταση (Boyce, 2014; ISO/CIE, 2023; ISO, 2018).

Το πείραμα πραγματοποιείται σε ελεγχόμενες συνθήκες χαμηλού ή μηδενικού περιβαλλοντικού φωτισμού, με σταθερή απόσταση ανάμεσα στο δείγμα, τη φωτογραφική μηχανή και το φωτόμετρο. Το δείγμα τοποθετείται σε διαφανές δοχείο μπροστά από μαύρο φόντο, ώστε να περιοριστούν οι ανακλάσεις και να αυξηθεί η οπτική αντίθεση του φαινομένου. Πριν από την έναρξη των μετρήσεων, το δείγμα παραμένει σε σκοτεινές συνθήκες ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση της φωτεινής του απόκρισης. Καταγράφονται οι βασικές συνθήκες του πειράματος, όπως η ώρα, η θερμοκρασία, ο όγκος του δείγματος, το είδος του δοχείου, η απόσταση μέτρησης και η κατάσταση του δείγματος κατά τη στιγμή της καταγραφής. Η σταθερότητα αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητη, επειδή επιτρέπει τη σύγκριση των μετρήσεων μεταξύ τους και όχι την αυθαίρετη αποτύπωση μεμονωμένων φωτεινών επεισοδίων (CIE, 2014; Gray & Malins, 2004; Sullivan, 2010).

Η φωτογραφική καταγραφή πραγματοποιείται με τη μηχανή σε χειροκίνητη λειτουργία, ώστε να ελεγχθούν πλήρως το διάφραγμα, η ταχύτητα κλείστρου και η ευαισθησία ISO. Η χρήση αρχείων RAW, σταθερής εστίασης, σταθερού white balance και τρίποδου επιτρέπει τη σύγκριση των λήψεων χωρίς την παρέμβαση αυτόματων διορθώσεων της κάμερας. Οι λήψεις οργανώνονται σε σειρά διαφορετικών ρυθμίσεων, ώστε να εξεταστεί πώς μεταβάλλεται η καταγραφή του βιοφωταυγούς φωτός ανάλογα με τον χρόνο έκθεσης και την ευαισθησία του αισθητήρα. Για παράδειγμα, μπορεί να συγκριθεί το ίδιο φωτεινό συμβάν σε ISO 800, 1600, 3200 και 6400, με χρόνους έκθεσης από 5 έως 30 δευτερόλεπτα. Με αυτόν τον τρόπο, η DSLR δεν χρησιμοποιείται μόνο ως μέσο απεικόνισης, αλλά και ως εργαλείο διερεύνησης των ορίων της φωτογραφικής καταγραφής χαμηλής φωτεινότητας (ISO, 2018; Karlen, Benya, & Spangler, 2017).

### 3.3.2 Ημερολόγιο φροντίδας καλλιέργειας βιοφωταυγούς άλγης

Στο πλαίσιο της πειραματικής διερεύνησης της βιοφωταύγειας, διατηρήθηκε για μία εβδομάδα εμπορικό kit βιοφωταυγούς άλγης / δινωμαστιγωτών σε ελεγχόμενες οικιακές συνθήκες. Σκοπός της διαδικασίας ήταν η προσαρμογή του δείγματος, η παρατήρηση της φωτεινής του απόκρισης και η προετοιμασία του για φωτομετρική και φωτογραφική καταγραφή. Η καλλιέργεια τοποθετήθηκε σε σημείο με φυσικό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποφεύγοντας την παρατεταμένη έκθεση σε έντονο μεσημεριανό ήλιο και την υπερθέρμανση του δοχείου. Παράλληλα, εφαρμόστηκε περίοδος σκοταδίου κατά τις βραδινές ώρες, ώστε να είναι δυνατή η παρατήρηση της βιοφωταύγειας μετά από ήπια μηχανική διέγερση.



Εικόνα 34. Glowing Algae kit <https://bioglow.eu/shop/en/>

| Ημέρα   | Συνθήκες φροντίδας                                                                                                                                                     | Παρατήρηση δείγματος                                                                                                                                            | Ενέργειες                                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ημέρα 1 | Το kit παραλήφθηκε και τοποθετήθηκε σε σταθερό σημείο με φυσικό φως. Αποφεύχθηκε η έντονη μετακίνηση του δοχείου, ώστε η καλλιέργεια να προσαρμοστεί μετά τη μεταφορά. | Το δείγμα δεν παρατηρήθηκε άμεσα ως έντονα φωτεινό. Η πιθανή μειωμένη απόκριση αποδόθηκε στη μεταφορά και στην ανάγκη προσαρμογής στον νέο κύκλο φωτός/σκότους. | Καταγράφηκε η αρχική κατάσταση του kit, η θέση τοποθέτησης και οι βασικές συνθήκες του χώρου.    |
| Ημέρα 2 | Το δείγμα παρέμεινε σε σημείο με ήπιο φυσικό φως κατά τη διάρκεια της ημέρας και σε σκοτεινές συνθήκες το βράδυ.                                                       | Κατά τη βραδινή παρατήρηση, μετά από ήπια ανακίνηση, εμφανίστηκε χαμηλής έντασης φωτεινή απόκριση. Η φωταύγεια περισσότερο αντιληπτή σε πλήρες σκοτάδι.         | Πραγματοποιήθηκε πρώτη ανεπίσημη παρατήρηση της φωτεινής συμπεριφοράς χωρίς φωτομετρική μέτρηση. |



|         |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                          |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ημέρα 3 | Η καλλιέργεια διατηρήθηκε στον ίδιο κύκλο φωτός και σκοταδιού. Το δοχείο δεν εκτέθηκε σε έντονη θερμότητα ή άμεσο μεσημεριανό ήλιο.                            | Η φωτεινή απόκριση μετά από μηχανική διέγερση φάνηκε πιο σταθερή σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα, αν και παρέμεινε χαμηλής έντασης.                                                                                                  | Έγινε ήπια ανακίνηση για σύντομη παρατήρηση και σημειώθηκε ότι η φωταύγεια εξασθενεί μετά από επαναλαμβανόμενη διέγερση. |
| Ημέρα 4 | Προστέθηκαν micronutrients / θρεπτικό διάλυμα σύμφωνα με τις οδηγίες του kit. Μετά την προσθήκη, το δείγμα παρέμεινε ακίνητο ώστε να αποφευχθεί περιττό stress | Δεν αναμενόταν άμεση έντονη αλλαγή στη φωτεινότητα. Η προσθήκη θρεπτικών στοιχείων αντιμετωπίστηκε ως ενέργεια υποστήριξης της καλλιέργειας και όχι ως άμεσος τρόπος ενίσχυσης της λάμψης.                                             | Καταγράφηκε η ποσότητα θρεπτικού διαλύματος που προστέθηκε: [συμπλήρωση ποσότητας].                                      |
| Ημέρα 5 | Το δείγμα παρέμεινε σε σταθερό σημείο με φως ημέρας και σκοτάδι τη νύχτα. Αποφεύχθηκαν οι πολλές μετακινήσεις.                                                 | Η καλλιέργεια εμφάνισε βιοφωταυγή απόκριση μετά από ήπια ανακίνηση. Το φαινόμενο γίνεται αντιληπτό κυρίως όταν ο χώρος είναι πλήρως σκοτεινός.                                                                                         | Σημειώθηκε η ανάγκη για σταθερό πρωτόκολλο παρατήρησης πριν από τις φωτογραφικές λήψεις.                                 |
| Ημέρα 6 | Διατηρήθηκαν σταθερές οι συνθήκες φωτός/σκότους. Το kit προετοιμάστηκε για φωτογραφική και φωτομετρική καταγραφή.                                              | Η φωτεινή απόκριση παρέμεινε σύντομη και εξαρτημένη από τη μηχανική διέγερση. Παρατηρήθηκε ότι η ένταση του φαινομένου δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με τον χρόνο, την κατάσταση του δείγματος και τον τρόπο ανακίνησης. | Προετοιμάστηκε η πειραματική διάταξη: μαύρο φόντο, DSLR, τρίποδο και φωτόμετρο.                                          |

## Ημέρα 7

Το δείγμα τοποθετήθηκε σε σκοτεινό χώρο για την τελική παρατήρηση της εβδομάδας. Διατηρήθηκαν σταθερές οι αποστάσεις μεταξύ δείγματος, κάμερας και φωτόμετρου.

Η βιοφωταύγεια καταγράφηκε ως χαμηλής έντασης. Η οπτική της εμπειρία διέφερε από τη φωτογραφική της αποτύπωση, καθώς οι ρυθμίσεις της μηχανής μπορούσαν να ενισχύσουν ή να περιορίσουν την ορατότητα του φωτός.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές λήψεις με διαφορετικές ρυθμίσεις DSLR και σημειώθηκαν οι πρώτες παρατηρήσεις για τη φωτομετρική καταγραφή.

Συνολικά, η εβδομαδιαία φροντίδα του kit ανέδειξε ότι η βιοφωταύγεια δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί ως σταθερή φωτεινή πηγή, αλλά ως ζωντανή και χρονικά εξαρτημένη διεργασία. Η καλλιέργεια χρειάζεται σταθερές συνθήκες φωτός και σκοταδιού, προσεκτική μεταχείριση, περιορισμένη μηχανική καταπόνηση και χρόνο προσαρμογής. Η προσθήκη micronutrients εντάχθηκε στη διαδικασία φροντίδας του δείγματος, ενώ η παρατήρηση της φωτεινής απόκρισης επιβεβαίωσε την ανάγκη για σκοτεινό περιβάλλον, σταθερό πρωτόκολλο και προσεκτική φωτογραφική τεκμηρίωση. Το ημερολόγιο αυτό λειτουργεί ως προπαρασκευαστικό στάδιο της πειραματικής μεθοδολογίας και τεκμηριώνει τη μετάβαση από τη φροντίδα του ζωντανού υλικού στη μέτρηση και καταγραφή του φωτός.

### 3.3.3 Φωτογραφική τεκμηρίωση

Η τελική παρατήρηση και καταγραφή πραγματοποιήθηκαν σε σκοτεινό χώρο ώστε να περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο το περιβαλλοντικό φως. Το δείγμα τοποθετήθηκε σε διαφανές δοχείο μπροστά από μαύρο φόντο, ενώ η φωτογραφική μηχανή στερεώθηκε σε τρίποδο. Διατηρήθηκαν σταθερές, όσο ήταν εφικτό, οι θέσεις του δείγματος, της φωτογραφικής μηχανής και του φωτόμετρου.

Για τη φωτομετρική δοκιμή χρησιμοποιήθηκε φωτόμετρο **Konica Minolta T-10A**, ενώ για τη φωτογραφική καταγραφή χρησιμοποιήθηκε **Nikon Z6**. Η φωτογραφική μηχανή λειτούργησε σε χειροκίνητες ρυθμίσεις, ώστε να μπορούν να μεταβάλλονται ελεγχόμενα ο χρόνος έκθεσης, το διάφραγμα και η ευαισθησία ISO. Η σταθερή τοποθέτηση σε τρίποδο ήταν απαραίτητη λόγω των χαμηλών επιπέδων φωτός και της ανάγκης για μεγαλύτερους χρόνους έκθεσης.

Η διαδικασία περιλάμβανε αρχικά την παρατήρηση του δείγματος σε κατάσταση ηρεμίας και στη συνέχεια την εφαρμογή ήπιας μηχανικής διέγερσης μέσω κίνησης του δοχείου και του υγρού. Η σύγκριση των δύο καταστάσεων επέτρεψε να διαπιστωθεί η σύνδεση ανάμεσα στην κίνηση και στη φωτεινή απόκριση, η οποία αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της βιοφωταύγειας των συγκεκριμένων οργανισμών (Latz et al., 2004).

Η φωτομετρική και η φωτογραφική διαδικασία δεν θεωρήθηκαν ισοδύναμες. Το φωτόμετρο χρησιμοποιήθηκε ως απόπειρα ποσοτικής καταγραφής της φωτεινής στάθμης, ενώ η φωτογραφική μηχανή χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την καταγραφή της μορφής, του χρώματος, της κίνησης και της χρονικής συμπεριφοράς του φωτεινού φαινομένου.

Η φωτογραφική τεκμηρίωση αποτέλεσε σημαντικό μέρος της πειραματικής διαδικασίας. Δεν χρησιμοποιήθηκε μόνο για την παρουσίαση του αποτελέσματος, αλλά και ως τρόπος παρατήρησης της διαφοράς ανάμεσα στο φαινόμενο όπως βιώνεται άμεσα από το ανθρώπινο μάτι και στο φαινόμενο όπως καταγράφεται από τον αισθητήρα της φωτογραφικής μηχανής.

Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει φωτογραφίες της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου φροντίδας, της πειραματικής διάταξης και της φωτεινής απόκρισης μετά από μηχανική διέγερση. Οι εικόνες αυτές καταγράφουν τόσο την υλική πραγματικότητα του πειράματος όσο και τις δυσκολίες που προέκυψαν κατά την προσπάθεια φωτογράφισης ενός εξαιρετικά ασθενούς και παροδικού φωτός.

Οι μεγαλύτεροι χρόνοι έκθεσης επέτρεψαν στη φωτογραφική μηχανή να συγκεντρώσει περισσότερο φωτεινό σήμα, αλλά παράλληλα κατέγραψαν την κίνηση του υγρού ως θόλωμα ή επιμηκυμένο φωτεινό ίχνος. Αντίθετα, οι συντομότερες εκθέσεις πλησίαζαν περισσότερο στη χρονική εμπειρία της άμεσης παρατήρησης, αλλά δυσκολεύονταν να καταγράψουν επαρκώς τη χαμηλή φωτεινότητα.

Η φωτογραφία δεν αντιμετωπίζεται επομένως ως ουδέτερη αναπαράσταση της πραγματικής έντασης της βιοφωταύγειας. Η τελική εικόνα επηρεάζεται από τον χρόνο έκθεσης, το ISO, το διάφραγμα, την ευαισθησία του αισθητήρα και την κίνηση του δείγματος. Η φωτογραφική τεκμηρίωση καταγράφει το φαινόμενο μέσα από ένα συγκεκριμένο τεχνικό σύστημα και πρέπει να διαβάζεται ως τέτοια.

Κατά την άμεση παρατήρηση, η καλλιέργεια παρήγαγε ορατή βιοφωταύγηση απόκριση μετά από μηχανική διέγερση. Το φως είχε μπλε απόχρωση, χαμηλή ένταση και μικρή διάρκεια και γινόταν περισσότερο αντιληπτό σε συνθήκες πλήρους σκοταδιού. Δεν εμφανιζόταν ως σταθερή φωτεινή επιφάνεια, αλλά ως σύντομο και μεταβαλλόμενο ίχνος που ακολουθούσε την κίνηση του υγρού.

Η προσπάθεια φωτομετρικής καταγραφής με το **Konica Minolta T-10A** δεν απέδωσε αξιόπιστη αριθμητική τιμή πάνω από το κατώτερο όριο μέτρησης του οργάνου. Το αποτέλεσμα αυτό δεν επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό της παραγόμενης φωτεινότητας. Δείχνει μόνο ότι, με τη συγκεκριμένη ποσότητα δείγματος, τη συγκεκριμένη διάταξη και το διαθέσιμο όργανο, δεν ήταν δυνατή η αξιόπιστη φωτομετρική καταγραφή της εκπομπής.

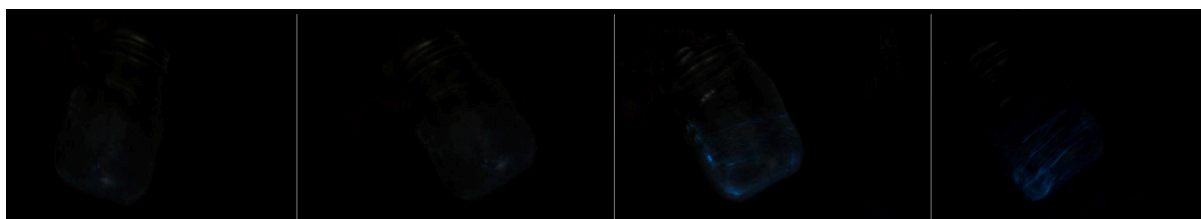
Η αδυναμία μέτρησης μπορεί να σχετίζεται με τη χαμηλή ένταση της βιοφωταύγειας, αλλά και με τη σύντομη και χωρικά μεταβαλλόμενη μορφή της. Ένα συμβατικό φωτόμετρο φωτισμού δεν είναι σχεδιασμένο ειδικά για την καταγραφή πολύ ασθενών και στιγμιαίων βιολογικών εκλάμψεων. Για ακριβέστερη ποσοτικοποίηση θα απαιτούνταν πιο αυστηρά ελεγχόμενη διάταξη και εξειδικευμένος ανιχνευτής υψηλής ευαισθησίας.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, επειδή δείχνει ότι η δυσκολία φωτογράφισης δεν αποτελεί απλώς τεχνικό σφάλμα. Προκύπτει από μια βασική ιδιότητα του ίδιου του φαινομένου: **για να εμφανιστεί το φως χρειάζεται κίνηση, ενώ για να καταγραφεί**

**καθαρά σε συνθήκες πολύ χαμηλού φωτισμού χρειάζεται σχετική σταθερότητα.** Η αντίφαση αυτή κάνει ορατή τη χρονική και κινητική φύση της βιοφωταύγειας.

| Λήψη | ISO  | Χρόνος έκθεσης | Διάφραγμα | Εστιακή απόσταση | Σκοπός                                     |
|------|------|----------------|-----------|------------------|--------------------------------------------|
| 1    | 800  | 15 s           | f/2.8     | 50 mm            | Έλεγχος χαμηλού ISO                        |
| 2    | 1600 | 15 s           | f/2.8     | 50 mm            | Σύγκριση ευαισθησίας                       |
| 3    | 3200 | 15 s           | f/2.8     | 50 mm            | Ενδιάμεση/βασική λήψη                      |
| 4    | 6400 | 15 s           | f/2.8     | 50 mm            | Έλεγχος υψηλού ISO                         |
| 5    | 3200 | 5 s            | f/2.8     | 50 mm            | Σύντομη έκθεση                             |
| 6    | 3200 | 10 s           | f/2.8     | 50 mm            | Ενδιάμεση έκθεση                           |
| 7    | 3200 | 20 s           | f/2.8     | 50 mm            | Μεγαλύτερη συγκέντρωση φωτός               |
| 8    | 3200 | 30 s           | f/2.8     | 50 mm            | Μέγιστη έκθεση / καταγραφή φωτεινού ίχνους |

Ωρα: 00:30 | Ήπια Μηχανική Διέγερση



[ ΦΩΤΟ 1 ]

ISO 800

15 s · f/2.8 · 50 mm

[ ΦΩΤΟ 2 ]

ISO 1600

15 s · f/2.8 · 50 mm

[ ΦΩΤΟ 3 ]

ISO 3200

15 s · f/2.8 · 50 mm

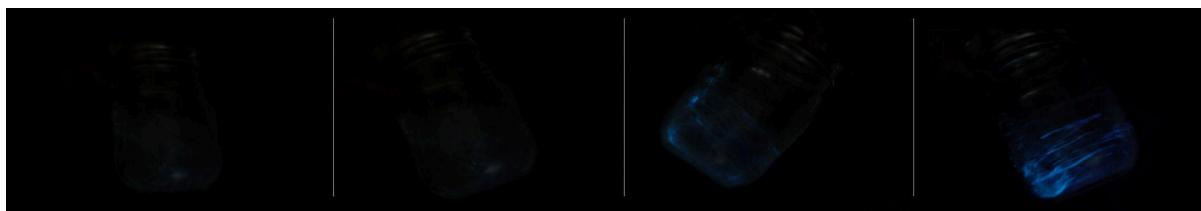
[ ΦΩΤΟ 4 ]

ISO 6400

15 s · f/2.8 · 50 mm

### Μεταβολή χρόνου έκθεσης

Σταθερά: ISO 3200 · f/2.8 · 50 mm



[ ΦΩΤΟ 5 ]

5 s

ISO 3200 · f/2.8 · 50  
mm

[ ΦΩΤΟ 6 ]

10 s

ISO 3200 · f/2.8 · 50  
mm

[ ΦΩΤΟ 7 ]

20 s

ISO 3200 · f/2.8 · 50  
mm

[ ΦΩΤΟ 8 ]

30 s

ISO 3200 · f/2.8 · 50  
mm



### 3.3.4 Περιορισμοί της διαδικασίας

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε μικρή κλίμακα και με διαθέσιμο εμπορικό kit και εξοπλισμό, επομένως τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευτούν ως συνολική αξιολόγηση της φωτομετρικής απόδοσης των βιοφωταυγούς άλγης. Δεν υπήρχε εξειδικευμένος σκοτεινός θάλαμος, τυποποιημένος μηχανισμός εφαρμογής της ίδιας μηχανικής διέγερσης σε κάθε δοκιμή ή ανιχνευτής σχεδιασμένος ειδικά για πολύ ασθενείς και σύντομες βιοφωταυγείς εκπομπές.

Επίσης, η μηχανική διέγερση πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα και επομένως δεν ήταν δυνατό να εξασφαλιστεί ότι κάθε δοκιμή παρήγαγε ακριβώς την ίδια μετακίνηση του υγρού. Η κατάσταση της καλλιέργειας, η χρονική στιγμή της παρατήρησης και οι προηγούμενες διεγέρσεις αποτελούν επίσης μεταβλητές που μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.





**Εικόνα 35.** Βιοφωταυγής άλγη σε ανακίνηση

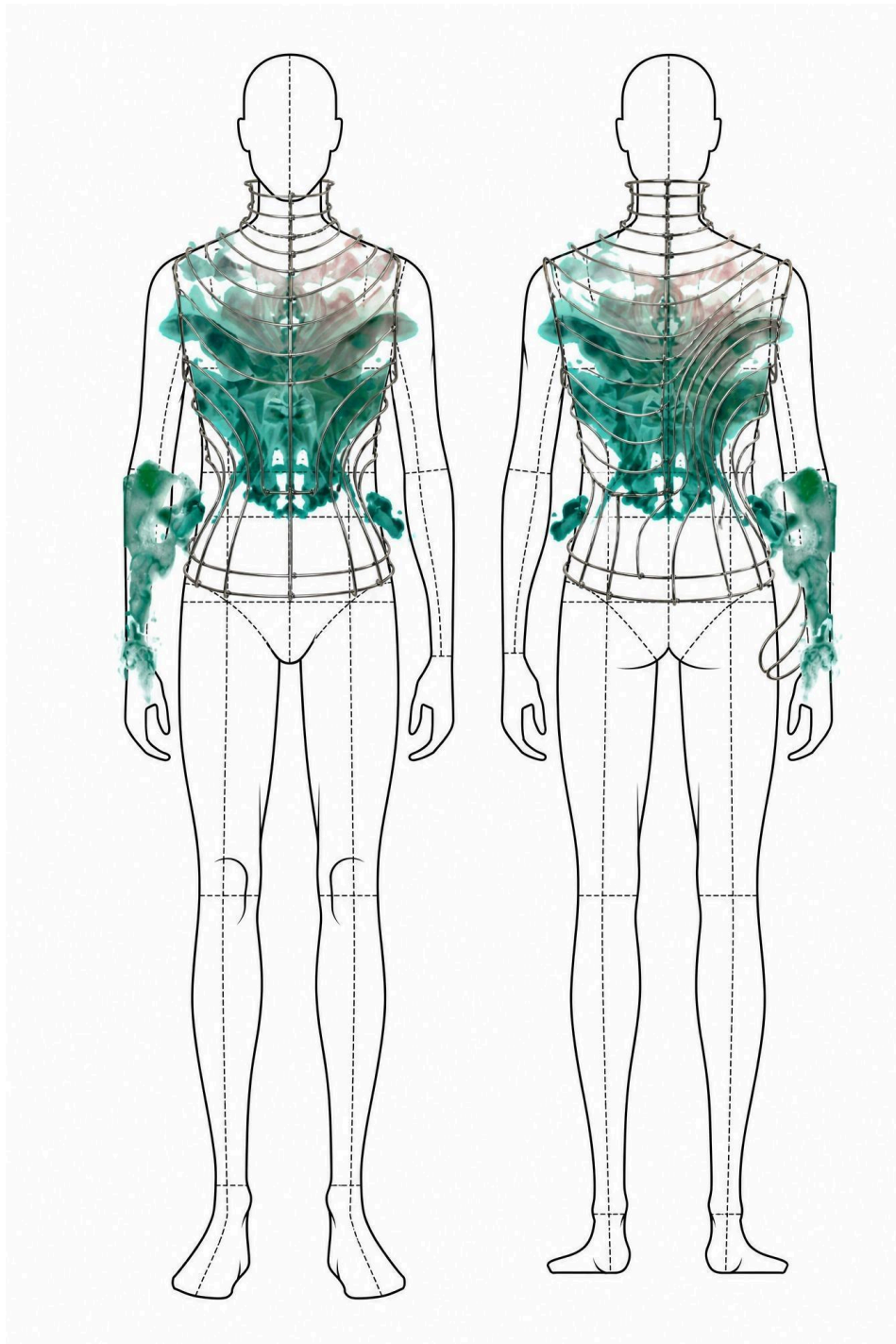
### 3.4 Σχεδιαστική μεθοδολογία και κατασκευή

Η μορφολογία του *Ceasefire!* αναπτύσσεται με αφετηρία τη θέση του σωσιβίου πάνω στο ανθρώπινο σώμα. Η κατασκευή περιβάλλει τον κορμό και εκτείνεται προς το στήθος και τους ώμους, διατηρώντας αρκετά στοιχεία της αρχικής τυπολογίας ώστε η αναφορά της να παραμένει αναγνωρίσιμη. Η συμβατική μορφή, ωστόσο, απλοποιείται και ανασυντίθεται, ώστε το αντικείμενο να απομακρύνεται από την εικόνα πιστοποιημένου σωστικού εξοπλισμού και να αποκτά τον χαρακτήρα ενός **φωτεινού θώρακα**.

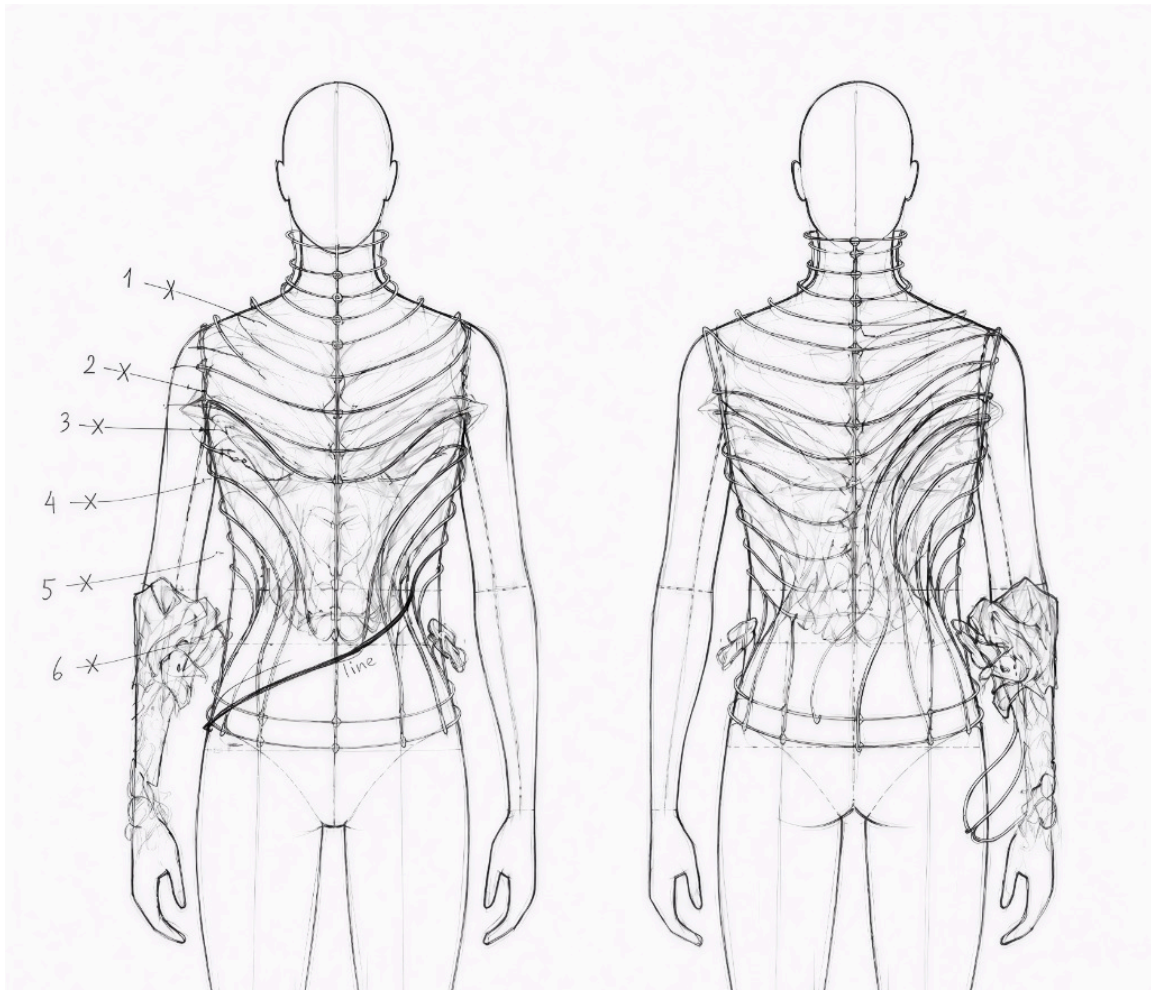
Η επιλογή του θώρακα καθορίζει και την οργάνωση της φωτεινής επιφάνειας. Οι περιοχές εκπομπής κατανέμονται πάνω στη φορετή δομή έτσι ώστε να μη διαβάζονται ως εξωτερικές φωτεινές προσθήκες, αλλά ως μέρος της ίδιας της κατασκευής. Σχεδιαστικά, επιδιώκεται η εντύπωση ότι το φως αναδύεται από το εσωτερικό του αντικειμένου. Η μορφή δεν μιμείται συγκεκριμένο θαλάσσιο οργανισμό· αντλεί, ωστόσο, από οργανικές δομές την ιδέα της συνέχειας, της ροής και της εσωτερικής δραστηριότητας.

Η υλικότητα οργανώνεται γύρω από την έννοια μιας **δεύτερης επιδερμίδας**. Διαφανείς και ημιδιαφανείς μεμβράνες, εύκαμπτα φύλλα και στρώσεις επιτρέπουν την οπτική πρόσβαση στο εσωτερικό και συγχρόνως τροποποιούν την αντίληψη της φωτεινής εκπομπής μέσω διάχυσης, ανάκλασης και παραμόρφωσης. Η διαφάνεια αποτελεί επομένως λειτουργική προϋπόθεση της κατασκευής και όχι απλώς αισθητική επιλογή. Σε αντίθεση με το συμπαγές κέλυφος ενός συμβατικού σωσιβίου, το προτεινόμενο περίβλημα χαρακτηρίζεται από οπτική διαπερατότητα και εύκαμπτη συμπεριφορά, ώστε να διατηρεί στενή σχέση με την επιφάνεια του σώματος. Η κατεύθυνση αυτή υπήρχε ήδη στην αρχική σχεδιαστική έρευνα ως μετάβαση από το κλειστό σωσίβιο σε ένα ημιδιαφανές και μεταβαλλόμενο περίβλημα. Επικολημένο κείμενο

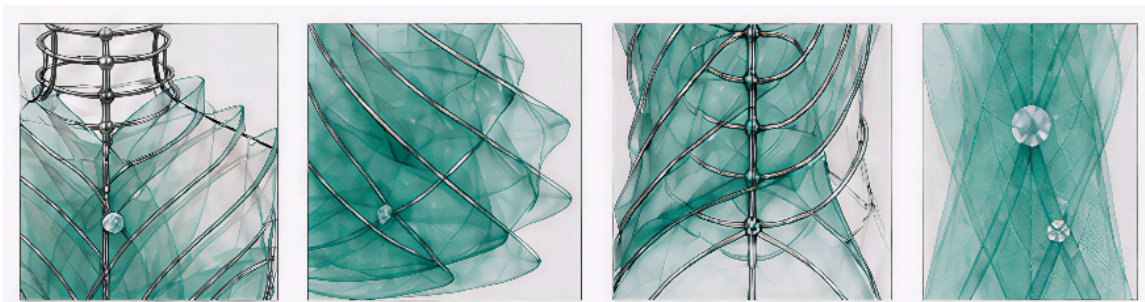
Στο υποθετικό λειτουργικό σενάριο, η κίνηση της κατασκευής προκαλεί τη μηχανική διέγερση του βιοφωταυγούς υλικού και παράγει σύντομες φωτεινές αποκρίσεις. Η ενεργοποίηση δεν βασίζεται σε ηλεκτρονικό αισθητήρα που καταγράφει τη συναισθηματική ή φυσιολογική κατάσταση του χρήστη. Η σύνδεση της έντασης με τη φωτεινή εκπομπή αποτελεί σχεδιαστική μετάφραση της πραγματικής συμπεριφοράς των δινομαστιγωτών: μια σωματική ή περιβαλλοντική διατάραξη μεταβάλλει το υγρό μέσο και μπορεί να οδηγήσει στην εκπομπή φωτός. Με αυτόν τον τρόπο, η κίνηση ενσωματώνεται στη λειτουργική λογική της φορετής μορφής.



**Εικόνα 36.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορετής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου



**Εικόνα 37.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορετής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου



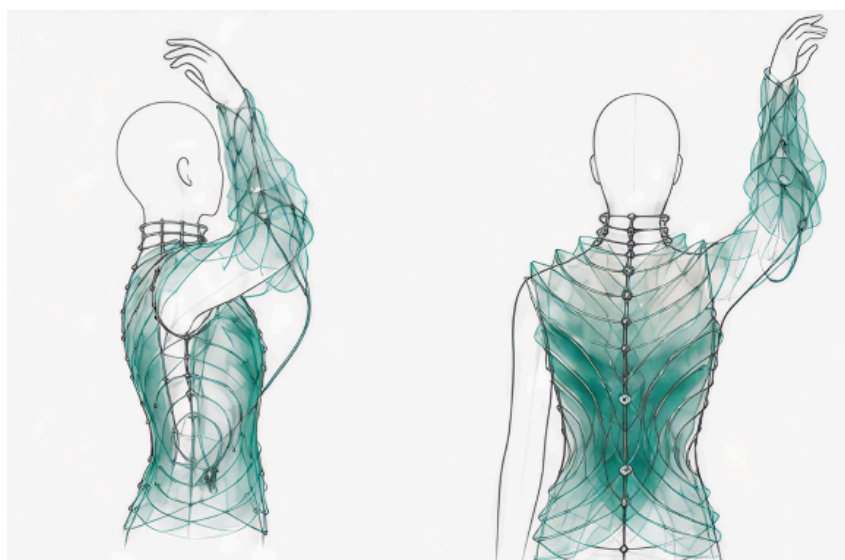
**Εικόνα 38.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορετής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου

Η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος με ζωντανή καλλιέργεια θα απαιτούσε περαιτέρω ανάπτυξη ως προς τη στεγανότητα, τη διατήρηση του υγρού μέσου, τις συνθήκες επιβίωσης



των οργανισμών και τη δυνατότητα ανανέωσης της καλλιέργειας. Η παρούσα κατασκευή δεν επιχειρεί να επιλύσει αυτά τα ζητήματα σε επίπεδο λειτουργικού προϊόντος. Η μακέτα αποδίδει σχεδιαστικά τις φωτεινές και υλικές ποιότητες που προέκυψαν από την πειραματική παρατήρηση και διαχωρίζεται σαφώς από την πραγματική ενσωμάτωση βιοφωταυγών οργανισμών.

Η μορφολογική ανάπτυξη πραγματοποιήθηκε μέσω διαδοχικών σκίτσων, δοκιμών κλίμακας και υλικών δειγμάτων. Τα πρώτα σχέδια διερεύνησαν τη σχέση της κατασκευής με την ανατομία του κορμού και την κατανομή των επιμέρους επιφανειών. Στη συνέχεια, η τρισδιάστατη διερεύνηση επέτρεψε την αξιολόγηση του όγκου, της εφαρμογής και της συμπεριφοράς των διαφανών υλικών. Οι δοκιμές αυτές οδήγησαν σε σταδιακές αναθεωρήσεις της μορφής και αποτέλεσαν μέρος της ίδιας της ερευνητικής διαδικασίας και όχι προπαρασκευαστικά στάδια μιας ήδη καθορισμένης λύσης (Schön, 1983· Zimmerman, Forlizzi, & Evenson, 2007).

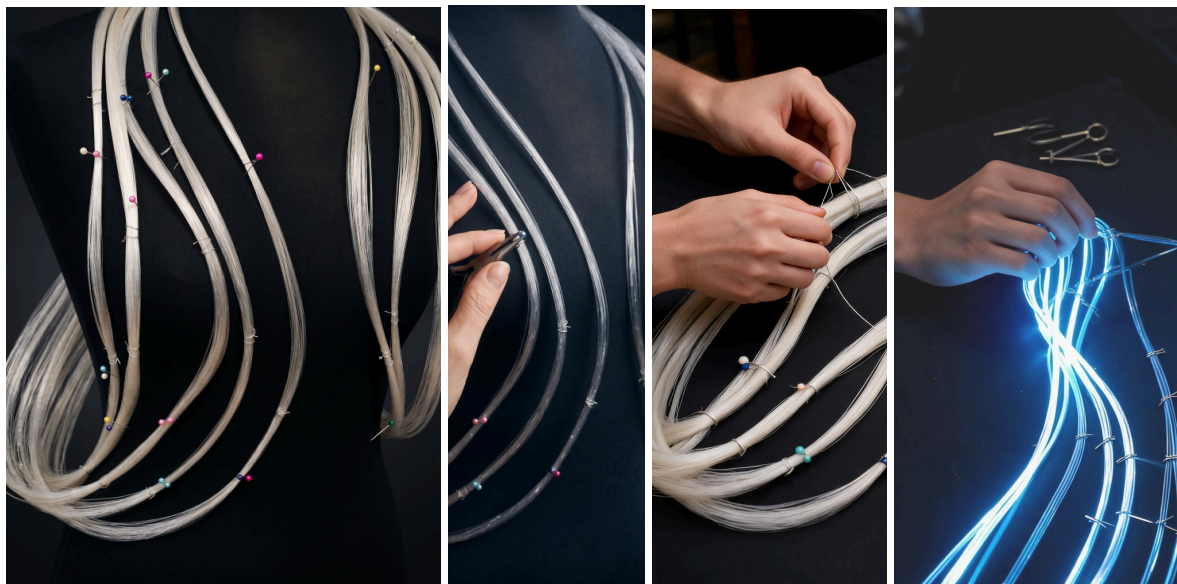


**Εικόνα 39.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορετής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου

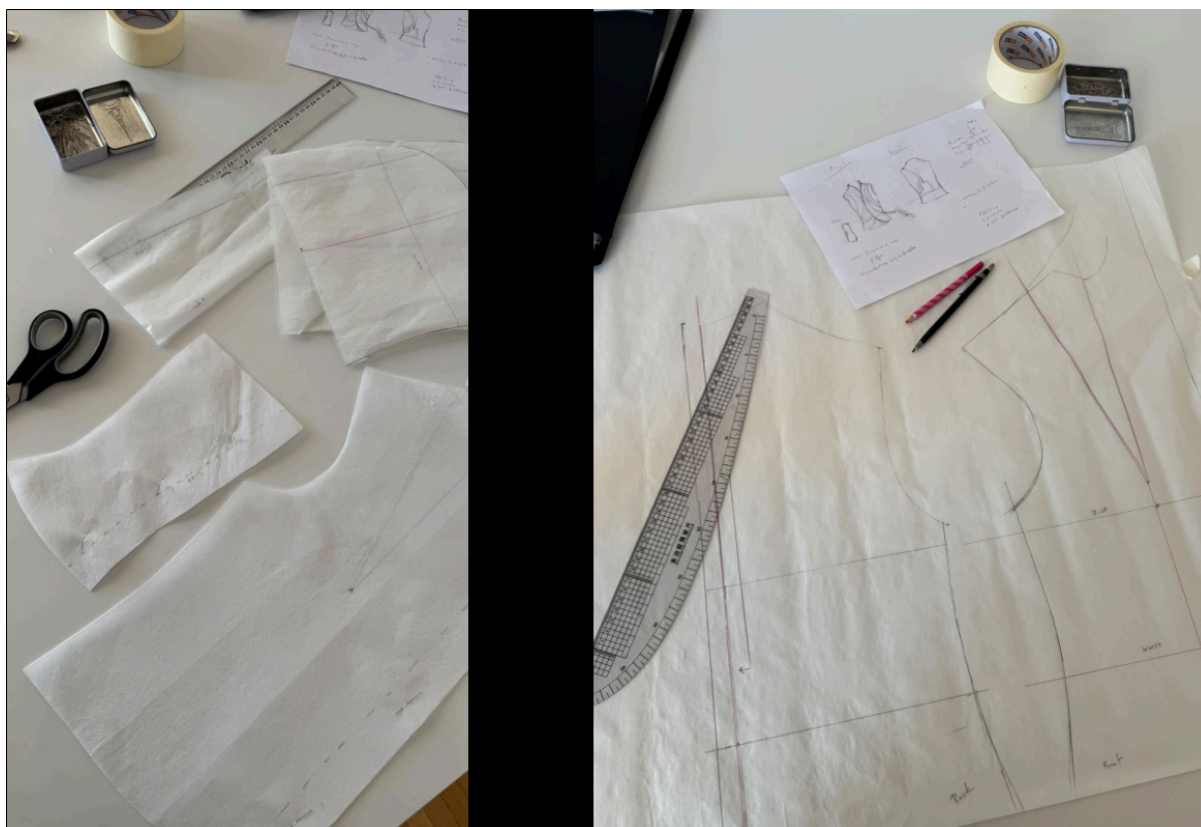
Η φωτογραφική τεκμηρίωση χρησιμοποιήθηκε στο τελικό στάδιο για την αξιολόγηση της μορφής και της φωτιστικής συμπεριφοράς της μακέτας. Οι λήψεις σε συνθήκες περιορισμένου φωτισμού επέτρεψαν να εξεταστούν η σχέση της κατασκευής με το σώμα, η διαφάνεια των επιφανειών και ο τρόπος με τον οποίο η φωτεινή προσομοίωση διαβάζεται στο σκοτάδι. Το περιβάλλον παρουσίας αποτελεί επομένως μέρος της σχεδιαστικής δοκιμής, καθώς οι χαμηλές φωτιστικές στάθμες είναι αναγκαίες για την αντίληψη της ποιότητας που επιχειρεί να αποδώσει το πρωτότυπο.

Η τελική κατασκευή αποδίδει το *Ceasefire!* ως έναν ημιδιαφανή φωτεινό θώρακα, στον οποίο η αρχική αναφορά στο σωσίβιο συνδυάζεται με την οργανική λογική της βιοφωταύγειας. Η μορφή, η υλικότητα και η φωτεινή συμπεριφορά συγκροτούν ένα ενιαίο

σχεδιαστικό σύστημα και αποτελούν την υλική απόδοση της εννοιολογικής πρότασης του έργου.



Εικόνα 40. Διαχείριση οπτικών ινών για την προσομοίωση της βιοφωταύγειας



Εικόνα 40. Πατρόν σωσιβίου





Εικόνα 41. Ράψιμο πρώτου επιπέδου σωσιβίου





Εικόνα 42. Δεύτερο αδιάβροχο, διαφανές επίπεδο





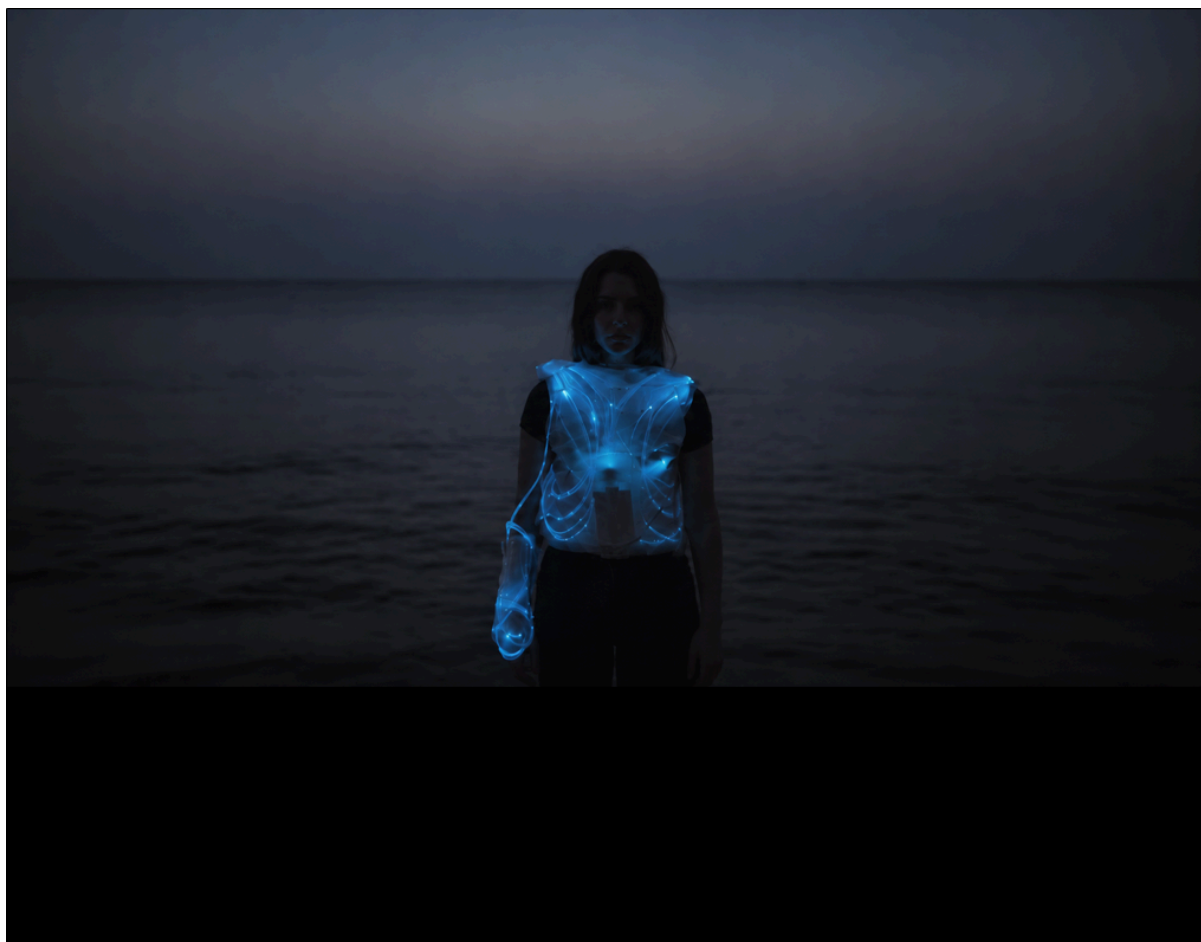
Εικόνα 43. Εφαρμογή σε σώμα και προσομοίωση βιοφωταύγειας με τεχνητό φως.







**Εικόνα 44.** Φωτογραφίες απο την διαδικασία κατασκευής μακέτας προσομοίωσης Ceasefire!



**Εικόνα 45.** Φωτογραφία με το ένδυμα σε θαλάσσιο τοπίο

## Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερεύνησε τη βιοφωταύγεια ως ζωντανό φωτεινό φαινόμενο μέσα από τη θεωρητική ανάλυση, τη σχεδιαστική διαδικασία και την πειραματική δοκιμή του έργου *Ceasefire!*. Το ερευνητικό ερώτημα δεν αφορούσε την ανάπτυξη μιας αποδοτικής τεχνολογίας φωτισμού, αλλά τη δυνατότητα της βιοφωταύγειας να λειτουργήσει ως οικολογικό, αισθητικό και πολιτικό μέσο στο πλαίσιο ενός speculative φορετού αντικειμένου. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, η εργασία κατέληξε ότι η σημασία της βιοφωταύγειας δεν βρίσκεται στην τεχνική της επάρκεια ως φωτιστικής πηγής, αλλά στην ικανότητά της να μετατοπίζει την έννοια του φωτός από την απόδοση και τον έλεγχο προς τη φροντίδα, τη χρονικότητα και την ευαλωτότητα.

Το πειραματικό σκέλος υπήρξε καθοριστικό για τη διαμόρφωση αυτού του συμπεράσματος. Η εμπορική καλλιέργεια βιοφωταυγών δινομαστιγωτών δεν μπόρεσε να καταγραφεί με τα διαθέσιμα μέσα ως σταθερή και φωτομετρικά μετρήσιμη πηγή φωτισμού. Το φωτόμετρο Konica Minolta T-10A δεν κατέγραψε τιμή πάνω από το κατώτερο όριο μέτρησης, ενώ η Nikon Z6, τοποθετημένη σε τρίποδο και σε συνθήκες μακράς έκθεσης, απέδωσε κυρίως ένα διάχυτο φωτεινό ίχνος ή θόλωμα. Το αποτέλεσμα αυτό δεν αντιμετωπίζεται ως αποτυχία, αλλά ως ουσιαστικό ερευνητικό εύρημα. Δείχνει ότι η βιοφωταύγεια, τουλάχιστον στη συγκεκριμένη κλίμακα και με τα διαθέσιμα μέσα, δεν μπορεί να προσεγγιστεί με τους ίδιους όρους με τους οποίους αξιολογείται μια συμβατική φωτεινή πηγή.

Η αδυναμία του φωτόμετρου να αποδώσει αξιόπιστη τιμή υποδηλώνει ότι η παραγόμενη φωτεινότητα ήταν είτε χαμηλότερη από το πρακτικό όριο του οργάνου είτε υπερβολικά σύντομη και χωρικά ασυνεχής για να μεταφραστεί σε σταθερή φωτομετρική ένδειξη. Το T-10A είναι όργανο μέτρησης φωτισμού που καταγράφει την ποσότητα φωτός που προσπίπτει σε μια επιφάνεια· επομένως, δεν είναι σχεδιασμένο για τη σύλληψη μεμονωμένων, στιγμιαίων και ασθενών εκλάμψεων βιολογικής προέλευσης (Konica Minolta, n.d.). Για αυστηρότερη ποσοτικοποίηση θα απαιτούνταν διαφορετική πειραματική διάταξη, όπως σκοτεινός θάλαμος, τυποποιημένος μηχανισμός διέγερσης, αποκλεισμός κάθε περιβαλλοντικού φωτός και ανιχνευτής υψηλής ευαισθησίας ή εξειδικευμένο σύστημα μέτρησης βιοφωταύγειας.

Αντίστοιχα, η φωτογραφική καταγραφή ανέδειξε μια δεύτερη κρίσιμη αντίφαση. Για να ενεργοποιηθεί η φωταύγεια των δινομαστιγωτών απαιτείται κίνηση ή διατάραξη του υγρού μέσου, ενώ για να παραχθεί καθαρή εικόνα σε εξαιρετικά χαμηλό φωτισμό απαιτείται σταθερότητα και παρατεταμένος χρόνος έκθεσης. Το θόλωμα που προέκυψε στις λήψεις δεν αποτελεί απλώς τεχνικό σφάλμα· αποτυπώνει τη χρονική και κινητική φύση του φαινομένου. Η βιοφωταύγεια δεν εμφανίζεται ως σταθερό φωτεινό σώμα, αλλά ως παροδική απόκριση που εγγράφεται στην εικόνα ως ίχνος κίνησης (Haddock et al., 2010; Latz et al., 2004). Έτσι, η ίδια η δυσκολία φωτογράφισης αποκαλύπτει κάτι ουσιαστικό για το αντικείμενο της έρευνας: το ζωντανό φως δεν είναι πλήρως διαθέσιμο στην ανθρώπινη πρόθεση ούτε εύκολα μεταφράσιμο σε στατική εικόνα.

Η φωτογραφία, επομένως, δεν λειτούργησε ως αντικειμενική μέτρηση φωτεινότητας, αλλά ως ποιοτικό εργαλείο παρατήρησης. Οι ρυθμίσεις της κάμερας, το ISO, το διάφραγμα, ο χρόνος έκθεσης, ο ψηφιακός θόρυβος και η πιθανή επεξεργασία επηρεάζουν καθοριστικά την τελική εικόνα (Nikon, 2018). Μια μεγαλύτερη έκθεση μπορεί να κάνει ορατό περισσότερο

φως από όσο αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι, ενώ μια συντομότερη έκθεση μπορεί να προσεγγίζει καλύτερα την άμεση εμπειρία αλλά να μην καταγράφει επαρκώς το φαινόμενο. Συνεπώς, οι φωτογραφίες της βιοφωταύγειας πρέπει να διαβάζονται ως τεχνικά διαμεσολαβημένες εικόνες και όχι ως ουδέτερα τεκμήρια. Στο πλαίσιο της εργασίας, αυτό συνδέεται άμεσα με το ερώτημα της ορατότητας: κάτι δεν γίνεται απλώς ορατό επειδή υπάρχει, αλλά επειδή ένα συγκεκριμένο τεχνικό, υλικό και αντιληπτικό πλαίσιο το καθιστά ορατό (Schuppli, 2020).

Το αρνητικό αποτέλεσμα της μέτρησης αποδυναμώνει την ιδέα της βιοφωταύγειας ως άμεσα εφαρμόσιμης πηγής λειτουργικού φωτισμού, αλλά ενισχύει τη σημασία της ως καλλιτεχνικού και εννοιολογικού υλικού. Η αδυναμία σταθερής καταγραφής, η ανάγκη σκοτεινής συνθήκης, η εξάρτηση από τη διέγερση και η φροντίδα της καλλιέργειας αναδεικνύουν τη βιοφωταύγεια ως διεργασία με δικούς της χρόνους και όρια. Δεν πρόκειται για ένα παθητικό υλικό που μπορεί απλώς να ενσωματωθεί σε ένα αντικείμενο, αλλά για ζωντανό σύστημα που απαιτεί συνθήκες διατήρησης, παρατήρησης και σεβασμού. Αυτή η διαπίστωση μετατοπίζει το ενδιαφέρον από το ερώτημα «πόσο φωτίζει» στο ερώτημα «τι είδους σχέση με το φως παράγει» (Bennett, 2010; Haraway, 2016).

Η μετατόπιση αυτή είναι κρίσιμη για το Ceasefire!. Το έργο δεν χρειάζεται να αποδείξει ότι η βιοφωταύγεια μπορεί να φωτίσει αποτελεσματικά ένα φορετό γιλέκο. Αντίθετως, το πείραμα τεκμηριώνει γιατί το συγκεκριμένο φως είναι κατάλληλο ως εικαστικό και ερευνητικό μέσο: επειδή εμφανίζεται ως εύθραυστο σήμα, ως ίχνος που εξαρτάται από κίνηση, σκοτάδι και φροντίδα, και ως περισσότερο-από-ανθρώπινη μαρτυρία μιας ζωντανής διαδικασίας. Η αδυναμία του να λειτουργήσει ως σταθερή πηγή φωτισμού δεν είναι εξωτερικό πρόβλημα του έργου, αλλά μέρος της σημασίας του. Το φως του Ceasefire! δεν δηλώνει κυριαρχία πάνω στο σκοτάδι· δηλώνει προσωρινή παρουσία μέσα σε συνθήκες έκθεσης.

Σε αυτό το πλαίσιο, η προσομοίωση της βιοφωταύγειας στο τελικό αντικείμενο δεν πρέπει να παρουσιαστεί ως τεχνικά ισοδύναμη με το πραγματικό φαινόμενο. Αντίθετα, πρέπει να δηλωθεί ως σχεδιαστική μετάφραση των ποιοτήτων που παρατηρήθηκαν κατά το πείραμα: του μπλε φωτεινού ίχνους, της χαμηλής έντασης, της αστάθειας, της ενεργοποίησης μέσω κίνησης, της σύντομης διάρκειας και της δυσκολίας καταγραφής. Με αυτόν τον τρόπο, το Ceasefire! παραμένει ακαδημαϊκά και μεθοδολογικά συνεπές. Δεν ισχυρίζεται ότι διαθέτει μια ολοκληρωμένη βιοτεχνολογική εφαρμογή, αλλά αξιοποιεί το πειραματικό αποτέλεσμα για να διαμορφώσει ένα speculative αντικείμενο που μεταφράζει αισθητικά και πολιτικά τα όρια του ζωντανού φωτός (Auger, 2013; Dunne & Raby, 2013; Malpass, 2017).

Η σχέση με το σωσίβιο/γιλέκο ενισχύει αυτή την ανάγνωση. Το σωσίβιο είναι αντικείμενο επιβίωσης, θαλάσσιας μετακίνησης, συνόρου και ορατότητας. Στο Ceasefire!, όμως, δεν λειτουργεί ως υπόσχεση διάσωσης, αλλά ως επιφάνεια πάνω στην οποία εγγράφεται η αδυναμία μιας βέβαιης προστασίας. Το αδύναμο φως της βιοφωταύγειας μετατρέπει το σώμα σε φορέα ενός οριακού ίχνους: όχι σε σώμα πλήρως φωτισμένο και ελέγξιμο, αλλά σε σώμα που εμφανίζεται στιγμιαία, μερικά και υπό συνθήκες. Έτσι, το έργο συνδέει την υλικότητα του σωσιβίου με την πολιτική ορατότητα χωρίς να καταφεύγει σε κυριολεκτική αναπαράσταση του προσφυγικού σώματος ή σε αισθητικοποίηση του κινδύνου.

Η αναφορά στη Hunter Cole βοηθά να διευκρινιστεί περαιτέρω η σχέση ανάμεσα στο πραγματικό βιολογικό φως και τη φωτογραφική του εικόνα. Τα έργα της σειράς Living

Drawings και Living Light βασίζονται σε βιοφωταυγή βακτήρια που αναπτύσσονται σε τρυβλία Petri και φωτογραφίζονται κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης και εξασθένησής τους (Hunter Cole, n.d.). Πρόκειται για διαφορετικό βιολογικό σύστημα από τα δινομαστιγώτα της παρούσας εργασίας, με διαφορετικές συνθήκες καλλιέργειας, πυκνότητας και φωτογραφικής καταγραφής. Επομένως, η οπτική ένταση μιας καλλιτεχνικής φωτογραφίας δεν μπορεί να συγκριθεί άμεσα με την εμπειρία μιας εμπορικής καλλιέργειας δινομαστιγωτών ή με την ένδειξη ενός φωτόμετρου lux. Χωρίς ειδική τεκμηρίωση, δεν είναι ακαδημαϊκά ορθό να υποθεθεί ότι η ένταση της εικόνας οφείλεται σε μη βιολογικό υλικό· είναι πιθανότερο να συνδέεται με τη συγκέντρωση των οργανισμών, τον χρόνο έκθεσης, τη σκοτεινή συνθήκη, την ευαισθησία της κάμερας και τη διαδικασία παρουσίας.

Με βάση τα παραπάνω, η απάντηση στο κεντρικό ερευνητικό ερώτημα είναι σύνθετη αλλά σαφής. Η βιοφωταύγεια δεν μπορεί να υποστηριχθεί ως πρακτικά επαρκής και άμεσα εφαρμόσιμη φωτιστική τεχνολογία στο πλαίσιο του παρόντος έργου. Μπορεί όμως να λειτουργήσει ως οικολογικό και αισθητικό υλικό, ως ίχνος παρουσίας και ως more-than-human μάρτυρας, ακριβώς επειδή αντιστέκεται στη σταθεροποίηση, στην πλήρη μέτρηση και στον απόλυτο έλεγχο. Το πείραμα έδειξε ότι η βιοφωταύγεια δεν απομονώνεται εύκολα από τη βιολογική και χρονική της συνθήκη. Αυτή η αδυναμία δεν ακυρώνει το Ceasefire!· αντιθέτως, του δίνει το βασικό του νόημα.

Συμπερασματικά, το Ceasefire! ολοκληρώνεται ως εικαστικό-ερευνητικό πρωτότυπο και όχι ως προϊόν φωτισμού ή σωστικό αντικείμενο. Η συμβολή του βρίσκεται στο ότι μετατρέπει το αρνητικό πειραματικό αποτέλεσμα σε κριτική γνώση: δείχνει πως ένα φως που δεν μπορεί να μετρηθεί εύκολα, να σταθεροποιηθεί ή να αποδοθεί πλήρως φωτογραφικά μπορεί να γίνει φορέας σκέψης γύρω από το σώμα, την ορατότητα, την ευαλωτότητα και το σύνορο. Η βιοφωταύγεια εμφανίζεται έτσι όχι ως λύση, αλλά ως ερώτημα. Και το ερώτημα που θέτει είναι πώς θα μπορούσε ένα σώμα να γίνει ορατό όχι μέσω της εντατικοποίησης της επιτήρησης, αλλά μέσα από μια ασθενή, συμβιωτική και φροντιζόμενη σχέση με τη ζωή.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Auger, J. (2013). Speculative design: Crafting the speculation. *Digital Creativity*, 24(1), 11–35. <https://doi.org/10.1080/14626268.2013.767276>
- Badr, C. E., & Tannous, B. A. (2011). Bioluminescence imaging: Progress and applications. *Trends in Biotechnology*, 29(12), 624–633. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.010>
- Barati, B., Karana, E., Pont, S., & Van Dortmont, T. (2021). Living light interfaces: An exploration of bioluminescence aesthetics. In *Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference* (pp. 1215–1229). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3461778.3462038>
- Beardsley, J. (1998). *Earthworks and beyond: Contemporary art in the landscape* (3rd ed.). Abbeville Press.
- Bennett, J. (2010). *Vibrant matter: A political ecology of things*. Duke University Press.
- Bessho-Uehara, M., Huang, W., Patry, W. L., Browne, W. E., Weng, J.-K., & Haddock, S. H. D. (2020). Evidence for de novo biosynthesis of the luminous substrate coelenterazine in ctenophores. *iScience*, 23, 101859. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101859>
- Blas, Z. (2012–2014). *Facial weaponization suite* [Installation and performance project]. <https://zachblas.info/works/facial-weaponization-suite/>
- Blas, Z., & Gaboury, J. (2016). Biometrics and opacity: A conversation. *Camera Obscura: Feminism, Culture, and Media Studies*, 31(2), 155–165. <https://doi.org/10.1215/02705346-3592510>
- Bleecker, J. (2009). *Design fiction: A short essay on design, science, fact and fiction*. Near Future Laboratory.
- Blumenfeld, E. (2011). *Bioluminescence* [Photographic and video series]. Erika Blumenfeld Studio.
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press.
- Branchini, B. R., Southworth, T. L., Murtiashaw, M. H., Magyar, R. A., Gonzalez, S. A., Ruggiero, M. C., & Stroh, J. G. (2004). An alternative mechanism of bioluminescence color determination in firefly luciferase. *Biochemistry*, 43(23), 7255–7262. <https://doi.org/10.1021/bi036175d>
- Brighenti, A. M. (2010). *Visibility in social theory and social research*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9780230282056>
- Brodl, E., Winkler, A., & Macheroux, P. (2018). Molecular mechanisms of bacterial bioluminescence. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 551–564. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.11.003>
- Brown, A. (2014). *Art & ecology now*. Thames & Hudson.
- Butler, J. (2009). *Frames of war: When is life grievable?* Verso.

- Calvache, C., Rodriguez-Rodriguez, M., Vazquez-Vilriales, V., Garcia-Perez, E., Fleiss, A., Ezzeddin-Ayoub, M., Pasin, F., Daròs, J.-A., Sarkisyan, K. S., Orzaez, D., & Vazquez-Vilar, M. (2026). Bioluminescent sentinel plants enable autonomous diagnostics of viral infections. *Nature Communications*, 17, 7425. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-73810-w>
- Carolina Biological Supply Company. (n.d.). *Care guide: Bioluminescent dinoflagellates*. <https://www.carolina.com/teacher-resources/Video/video-bioluminescent-dinoflagellates/tr41209.tr>
- Catts, O., & Zurr, I. (2004). *Victimless Leather* [Living tissue installation]. The Tissue Culture & Art Project.
- Claes, J. M., Haddock, S. H. D., Coubris, C., & Mallefet, J. (2024). Systematic distribution of bioluminescence in marine animals: A species-level inventory. *Life*, 14(4), 432. <https://doi.org/10.3390/life14040432>
- Cole, H. (n.d.). *Living drawings*. <https://www.huntercole.org/>
- Costanza-Chock, S. (2020). *Design justice: Community-led practices to build the worlds we need*. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/12255.001.0001>
- Cresswell, T. (2006). *On the move: Mobility in the modern Western world*. Routledge.
- Davis, M. P., Sparks, J. S., & Smith, W. L. (2016). Repeated and widespread evolution of bioluminescence in marine fishes. *PLOS ONE*, 11(6), e0155154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155154>
- de Menezes, M. (n.d.). *Nature?* [Bioart project].
- de Menezes, M. (n.d.). *Proteic Portrait* [Bioart project].
- DeLeo, D. M., Bessho-Uehara, M., Haddock, S. H. D., McFadden, C. S., & Quattrini, A. M. (2024). Evolution of bioluminescence in Anthozoa with emphasis on Octocorallia. *Proceedings of the Royal Society B*, 291, 20232626. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2626>
- Demos, T. J. (2013). *The migrant image: The art and politics of documentary during global crisis*. Duke University Press. <https://doi.org/10.1215/9780822395751>
- Demos, T. J. (2016). *Decolonizing nature: Contemporary art and the politics of ecology*. Sternberg Press.
- Demos, T. J. (2017). *Against the Anthropocene: Visual culture and environment today*. Sternberg Press.
- Denes, A. (1992). Wheatfield/Tree Mountain. *Art Journal*, 51(2), 22–23. <https://doi.org/10.2307/777388>
- Downey, A. (2017). Scopic reflections: *Incoming* and the technology of exceptionalism. In *Richard Mosse: Incoming* (pp. 21–25). Barbican Art Gallery.
- Duchatelet, L., & Dupont, S. (2025). Marine eukaryote bioluminescence: A review of species and their functional biology. *Marine Life Science & Technology*, 7(2), 366–381. <https://doi.org/10.1007/s42995-024-00250-0>

- Dunne, A., & Raby, F. (2013). *Speculative everything: Design, fiction, and social dreaming*. MIT Press.
- Escobar, A. (2018). *Designs for the pluriverse: Radical interdependence, autonomy, and the making of worlds*. Duke University Press. <https://doi.org/10.1215/9780822371816>
- European Union. (2009). Directive 2009/41/EC of the European Parliament and of the Council on the contained use of genetically modified micro-organisms.
- Fallon, T. R., Lower, S. E., Chang, C.-H., Bessho-Uehara, M., Martin, G. J., Bewick, A. J., Behringer, M., Debat, H. J., Wong, I., Day, J. C., Suvorov, A., Silva, C. J., Stanger-Hall, K. F., Hall, D. W., Schmitz, R. J., Nelson, D. R., Lewis, S. M., Shigenobu, S., Bybee, S. M., ... Weng, J.-K. (2018). Firefly genomes illuminate parallel origins of bioluminescence in beetles. *eLife*, 7, e36495. <https://doi.org/10.7554/eLife.36495>
- Fawcett, N. J., & Dumitriu, A. (2018). Bacteria on display—can we, and should we? Artistically exploring the ethics of public engagement with science in microbiology. *FEMS Microbiology Letters*, 365(11), fny101. <https://doi.org/10.1093/femsle/fny101>
- Fleiss, A., & Sarkisyan, K. S. (2019). A brief review of bioluminescent systems. *Current Genetics*, 65(4), 877–882. <https://doi.org/10.1007/s00294-019-00951-5>
- Forensic Architecture. (2020). *Cloud Studies* [Research project and essay film]. <https://forensic-architecture.org/investigation/cloudstudies>
- Foucault, M. (1977). *Discipline and punish: The birth of the prison* (A. Sheridan, Trans.). Pantheon Books.
- Foucault, M. (1978). *The history of sexuality: Volume 1. An introduction* (R. Hurley, Trans.). Pantheon Books.
- Foucault, M. (2003). “Society must be defended”: *Lectures at the Collège de France, 1975–76* (D. Macey, Trans.). Picador.
- Foucault, M. (2007). *Security, territory, population: Lectures at the Collège de France, 1977–78* (G. Burchell, Trans.; M. Senellart, Ed.). Palgrave Macmillan.
- Frayling, C. (1994). *Research in art and design* (Royal College of Art Research Papers, Vol. 1, No. 1, 1993/4). Royal College of Art.
- Gaver, W. W. (2012). What should we expect from research through design? In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 937–946). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208538>
- Glissant, É. (1997). *Poetics of relation* (B. Wing, Trans.). University of Michigan Press.
- Glowee. (n.d.). *Bioluminescence: Nature-inspired lighting*. <https://glowee.com/>
- Gordiichuk, P., Coleman, S., Zhang, G., Kuehne, M., Lew, T. T. S., Park, M., Cui, J., Brooks, A. M., Hudson, K., Graziano, A. M., Marshall, D. J. M., Karsan, Z., Kennedy, S., & Strano, M. S. (2021). Augmenting the living plant mesophyll into a photonic capacitor. *Science Advances*, 7(37), eabe9733. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abe9733>

- Gregor, C., Pape, J. K., Gwosch, K. C., Gilat, T., Sahl, S. J., & Hell, S. W. (2019). Autonomous bioluminescence imaging of single mammalian cells with the bacterial bioluminescence system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(52), 26491–26496. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913616116>
- Greiner, A. (2014). *Toccata for Pyrocystis Fusiformis* [Installation/performance]. Developed with Sunlay Almeida Rodriguez.
- Grosz, E. (2001). *Architecture from the outside: Essays on virtual and real space*. MIT Press.
- Gruber, D. F., Phillips, B. T., O'Brien, R., Boominathan, V., Veeraraghavan, A., Vasan, G., O'Brien, P., Pieribone, V. A., & Sparks, J. S. (2019). Bioluminescent flashes drive nighttime schooling behavior and synchronized swimming dynamics in flashlight fish. *PLOS ONE*, 14(8), e0219852. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219852>
- Haddock, S. H. D., Moline, M. A., & Case, J. F. (2010). Bioluminescence in the sea. *Annual Review of Marine Science*, 2, 443–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081028>
- Haddock, S. H., Rivers, T. J., & Robison, B. H. (2001). Can coelenterates make coelenterazine? Dietary requirement for luciferin in cnidarian bioluminescence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(20), 11148–11151. <https://doi.org/10.1073/pnas.201329798>
- Hattori, M., Wazawa, T., Orioka, M., Hiruta, Y., & Nagai, T. (2025). Creating coveted bioluminescence colors for simultaneous multi-color bioimaging. *Science Advances*, 11(4), eadp4750. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp4750>
- He, J., Li, J., Zhang, R., Dong, Z., Liu, G., Chang, Z., Bi, W., Ruan, Y., Yang, Y., Liu, H., Qiu, L., Zhao, R., Wan, W., Li, Z., Chen, L., Li, Y., & Li, X. (2024). Multiple origins of bioluminescence in beetles and evolution of luciferase function. *Molecular Biology and Evolution*, 41(1), msad287. <https://doi.org/10.1093/molbev/msad287>
- Head, J. F., Inouye, S., Teranishi, K., & Shimomura, O. (2000). The crystal structure of the photoprotein aequorin at 2.3 Å resolution. *Nature*, 405, 372–376. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10830969/>
- Heller, C., & Pezzani, L. (2014). *Liquid traces: The Left-to-Die Boat case* [Film]. Forensic Oceanography.
- Henry Art Gallery. (2002). *Eduardo Kac: Genesis, 1999*. <https://henryart.org/exhibitions/eduardo-kac-genesis-1999>
- Holt, N. (1977). Sun Tunnels. *Artforum*, 15(8).
- ImageJ. (n.d.). ImageJ software.
- Ingold, T. (2000). *The perception of the environment: Essays on livelihood, dwelling and skill*. Routledge.

- Inouye, S. (2010). Firefly luciferase: An adenylate-forming enzyme for multicatalytic functions. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 67(3), 387–404. <https://doi.org/10.1007/s00018-009-0170-8>
- International Organization for Standardization / Commission Internationale de l'Éclairage. (2023). ISO/CIE 23539:2023 Photometry — The CIE system of physical photometry.
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 19093:2018 Photography — Digital cameras — Measuring low-light performance.
- Iwano, S., Sugiyama, M., Hama, H., Watakabe, A., Hasegawa, N., Kuchimaru, T., Tanaka, K. Z., Takahashi, M., Ishida, Y., Hata, J., Shimozone, S., Namiki, K., Fukano, T., Kiyama, M., Okano, H., Kizaka-Kondoh, S., McHugh, T. J., Yamamori, T., Hioki, H., ... Miyawaki, A. (2018). Single-cell bioluminescence imaging of deep tissue in freely moving animals. *Science*, 359(6378), 935–939. <https://doi.org/10.1126/science.aag1067>
- Jude, D. L. (2012, June 6). *Bioluminescence meets art in Paris*. Scripps Institution of Oceanography. <https://scripps.ucsd.edu/news/bioluminescence-meets-art-paris>
- Kac, E. (Ed.). (2007). Signs of life: Bio art and beyond. MIT Press.
- Kac, E. (1999). *Genesis* [Transgenic artwork]. <https://www.ekac.org/genesis.html>
- Kac, E. (2003). GFP Bunny. *Leonardo*, 36(2), 97–102. <https://doi.org/10.1162/002409403321554125>
- Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E.-J., & Camere, S. (2018). When the material grows: A case study on designing (with) mycelium-based materials. *International Journal of Design*, 12(2), 119–136.
- Kastner, J., & Wallis, B. (Eds.). (1998). *Land and environmental art*. Phaidon Press.
- Ke, H.-M., Lee, H.-H., Lin, C.-Y. I., Liu, Y.-C., Lu, M. R., Hsieh, J.-W. A., Chang, C.-C., Wu, P.-H., Lu, M. J., Li, J.-Y., Shang, G., Lu, R. J.-H., Nagy, L. G., Chen, P.-Y., Kao, H.-W., & Tsai, I. J. (2020). Mycena genomes resolve the evolution of fungal bioluminescence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(49), 31267–31277. <https://doi.org/10.1073/pnas.2010761117>
- Khakhar, A., Starker, C. G., Chamness, J. C., Lee, N., Stokke, S., Wang, C., Swanson, R., Rizvi, F., Imaizumi, T., & Voytas, D. F. (2020). Building customizable auto-luminescent luciferase-based reporters in plants. *eLife*, 9, e52786. <https://doi.org/10.7554/eLife.52786>
- Kim, H., Jung, S. O., Lee, S., & Lee, Y. (2024). Bioluminescent systems for theranostic applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(14), 7563. <https://doi.org/10.3390/ijms25147563>
- Kirby, D. A. (2010). The future is now: Diegetic prototypes and the role of popular films in generating real-world technological development. *Social Studies of Science*, 40(1), 41–70. <https://doi.org/10.1177/0306312709338325>
- Konica Minolta. (n.d.). *Illuminance meter T-10A/T-10MA instruction manual*. Konica Minolta Sensing.



- Korakidou, V. (2020). *Bioluminescence in contemporary art and lighting design: Advantages and limitations*. In *Book of Abstracts, 1st International Conference on Lighting, Interactivity, heritaGe, Health, Technology and Sustainability (LIGHTS 2020)*.
- Kotlobay, A. A., Sarkisyan, K. S., Mokrushina, Y. A., Marcet-Houben, M., Serebrovskaya, E. O., Markina, N. M., Somermeyer, L. G., Gorokhovatsky, A. Y., Vvedensky, A., Purtov, K. V., Petushkov, V. N., Rodionova, N. S., Chepurnyh, T. V., Fakhranurova, L. I., Guglya, E. B., Ziganshin, R., Tsarkova, A. S., Kaskova, Z. M., Shender, V., ... Yampolsky, I. V. (2018). Genetically encodable bioluminescent system from fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(50), 12728–12732. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803615115>
- Kusuma, S. H., Hattori, M., & Nagai, T. (2025). Autonomous bioluminescence systems: From molecular mechanisms to emerging applications. *JACS Au*, 5(11), 5237–5252. <https://doi.org/10.1021/jacsau.5c01072>
- Kusuma, S. H., Kakizuka, T., Hattori, M., & Nagai, T. (2024). Autonomous multicolor bioluminescence imaging in bacteria, mammalian, and plant hosts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121(41), e2406358121. <https://doi.org/10.1073/pnas.2406358121>
- Kwak, S.-Y., Giraldo, J. P., Wong, M. H., Koman, V. B., Lew, T. T. S., Ell, J., Weidman, M. C., Sinclair, R. M., Landry, M. P., Tisdale, W. A., & Strano, M. S. (2017). A nanobionic light-emitting plant. *Nano Letters*, 17(12), 7951–7961. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b04369>
- Labra, B., Parag-Sharma, K., Powers, J. J., Srivastava, S., Walker, J. R., Kirkland, T. A., Brennan, C. K., Prescher, J. A., & Amelio, A. L. (2024). Optimized in vivo multispectral bioluminescent imaging of tumor biology using engineered BRET reporters. *iScience*, 27(9), 110655. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110655>
- Laganier, V. (2023, February 7). *Mobilier urbain bioluminescent dans la ville de Rambouillet*. Light ZOOM Lumière.
- Latz Laboratory. (n.d.). Dinoflagellate culturing. Scripps Institution of Oceanography, UC San Diego.
- Latz, M. I. (2019). The making of Infinity Cube, a bioluminescence art exhibit. *Limnology and Oceanography Bulletin*, 28(4), 130–134. <https://doi.org/10.1002/lob.10345>
- Latz, M. I., & Rohr, J. (2013). Bathyphotometer bioluminescence potential measurements: A framework for characterizing flow agitators and predicting flow-stimulated bioluminescence intensity. *Continental Shelf Research*, 61–62, 71–84. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.022>
- Latz, M. I., Bovard, M., VanDelinder, V., Segre, E., Rohr, J., & Groisman, A. (2008). Bioluminescent response of individual dinoflagellate cells to hydrodynamic stress measured with millisecond resolution in a microfluidic device. *Journal of Experimental Biology*, 211(17), 2865–2875.
- Latz, M. I., Juhl, A. R., Ahmed, A. M., Elghobashi, S. E., & Rohr, J. (2004). Hydrodynamic stimulation of dinoflagellate bioluminescence: A computational and experimental study. *Journal of Experimental Biology*, 207(11), 1941–1951. <https://doi.org/10.1242/jeb.00973>
- Lau, E. S., & Oakley, T. H. (2021). Multi-level convergence of complex traits and the evolution of bioluminescence. *Biological Reviews*, 96(2), 673–691. <https://doi.org/10.1111/brv.12672>

- Lau, E. S., Goodheart, J. A., Anderson, N. T., Liu, V. L., Mukherjee, A., & Oakley, T. H. (2024). Similar enzymatic functions in distinct bioluminescence systems: Evolutionary recruitment of sulfotransferases in ostracod light organs. *Biology Letters*, 20, 20230585. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2023.0585>
- Lau, E. S., Majerova, M., Hensley, N. M., Mukherjee, A., Vasina, M., Pluskal, D., Damborsky, J., Prokop, Z., Delroisse, J., Bayaert, W.-S., Parey, E., Oliveri, P., Marlétaz, F., Marek, M., & Oakley, T. H. (2025). Functional characterization of luciferase in a brittle star indicates parallel evolution influenced by genomic availability of haloalkane dehalogenase. *Molecular Biology and Evolution*, 42(5), msaf081. <https://doi.org/10.1093/molbev/msaf081>
- Letendre, F., Blackburn, A., Malkiel, E., & Twardowski, M. (2024). Using bioluminescence as a tool for studying diversity in marine zooplankton and dinoflagellates: An initial assessment. *PeerJ*, 12, e17516. <https://doi.org/10.7717/peerj.17516>
- Letendre, F., Twardowski, M., Blackburn, A., Poulin, C., & Latz, M. I. (2024). A review of mechanically stimulated bioluminescence of marine plankton and its applications. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1299602. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1299602>
- Li, C., He, Q., Wang, Y., Wang, Z., Wang, Z., Annappooranan, R., Latz, M. I., & Cai, S. (2022). Highly robust and soft biohybrid mechanoluminescence for optical signaling and illumination. *Nature Communications*, 13, 3914. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31705-6>
- Liu, S., Su, Y., Lin, M. Z., & Ronald, J. A. (2021). Brightening up biology: Advances in luciferase systems for in vivo imaging. *ACS Chemical Biology*, 16(12), 2707–2718. <https://doi.org/10.1021/acscchembio.1c00549>
- Love, A. C., & Prescher, J. A. (2020). Seeing (and using) the light: Recent developments in bioluminescence technology. *Cell Chemical Biology*, 27(8), 904–920. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2020.07.022>
- Lozano-Hemmer, R. (2019). *Border Tuner / Sintonizador Fronterizo* [Interactive installation]. [https://lozano-hemmer.com/artworks/border\\_tuner\\_\\_sintonizador\\_fronterizo.php](https://lozano-hemmer.com/artworks/border_tuner__sintonizador_fronterizo.php)
- Lu, W., Priyashantha, A. K. H., Galappaththi, M. C. A., Tibpromma, S., Dai, D. Q., Patabendige, N. M., Premarathne, B. M., Kulasuriya, D. M., Ediriweera, A. N., Nimalrathna, T. S., Suwannarach, N., Lumyong, S., Tang, A., Shao, S. C., & Karunarathna, S. C. (2024). Fungal bioluminescence: Past, present, and future. *Diversity*, 16(9), 539. <https://doi.org/10.3390/d16090539>
- Malpass, M. (2017). *Critical design in context: History, theory, and practices*. Bloomsbury Academic.
- Marcinko, C. L. J., Allen, J. T., Poulton, A. J., Painter, S. C., & Martin, A. P. (2013). Diurnal variations of dinoflagellate bioluminescence within the open-ocean north-east Atlantic. *Journal of Plankton Research*, 35(1), 177–186.
- Markova, S. V., & Vysotski, E. S. (2015). Coelenterazine-dependent luciferases. *Biochemistry (Moscow)*, 80(6), 714–732. <https://doi.org/10.1134/S0006297915060073>
- Martini, S., & Haddock, S. H. D. (2017). Quantification of bioluminescence from the surface to the deep sea demonstrates its predominance as an ecological trait. *Scientific Reports*, 7, 45750. <https://doi.org/10.1038/srep45750>

- Mbembe, A. (2003). Necropolitics. *Public Culture*, 15(1), 11–40.  
<https://doi.org/10.1215/08992363-15-1-11>
- McFarland, A., Fenton, M., Madsen, J. J., & Ye, L. (2025). Unraveling a receptor-mediated bioluminescence signaling pathway in red tide algae. *Journal of Molecular Biology*, 437(13), 169153. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2025.169153>
- Mediated Matter. (2015). *Living Mushtari* [3D-printed bio-augmented wearable]. MIT Media Lab.  
<https://www.media.mit.edu/projects/living-mushtari/overview/>
- Meighen, E. A. (1991). Molecular biology of bacterial bioluminescence. *Microbiological Reviews*, 55(1), 123–142. <https://doi.org/10.1128/mr.55.1.123-142.1991>
- Merleau-Ponty, M. (2012). *Phenomenology of perception* (D. A. Landes, Trans.). Routledge. Original work published 1945.
- Mezzadra, S., & Neilson, B. (2013). *Border as method, or, the multiplication of labor*. Duke University Press. <https://doi.org/10.1215/9780822377542>
- Mezzanotte, L., van 't Root, M., Karatas, H., Goun, E. A., & Löwik, C. W. G. M. (2017). In vivo molecular bioluminescence imaging: New tools and applications. *Trends in Biotechnology*, 35(7), 640–652. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.03.012>
- Mirzoeff, N. (2011). *The right to look: A counterhistory of visibility*. Duke University Press.  
<https://doi.org/10.1215/9780822393726>
- MIT Art, Culture, and Technology. (2023). *Artistic Inquiry Conversation: Joe Davis*. Massachusetts Institute of Technology.
- Mitiouchkina, T., Mishin, A. S., Gonzalez Somermeyer, L., Markina, N. M., Chepurnyh, T. V., Guglya, E. B., Karataeva, T. A., Palkina, K. A., Shakhova, E. S., Fakhranurova, L. I., Chekova, S. V., Tsarkova, A. S., Golubev, Y. V., Negrebetsky, V. V., Dolgushin, S. A., Shalaev, P. V., Shlykov, D., Melnik, O. A., Shipunova, V. O., ... Sarkisyan, K. S. (2020). Plants with genetically encoded autoluminescence. *Nature Biotechnology*, 38(8), 944–946.  
<https://doi.org/10.1038/s41587-020-0500-9>
- Mohlongo, M., George, B. P., & Abrahamse, H. (2025). Applications of bioluminescence-mediated photodynamic therapy (BL-PDT) for the treatment of deep-seated tumours. *Discover Oncology*, 16(1), 2125. <https://doi.org/10.1007/s12672-025-03413-2>
- Montana State University Center for Biofilm Engineering. (2002). *Bioglyphs: A living collaboration with bioluminescent organisms*. <https://erc.montana.edu/bioglyphs/>
- Mossé, A., Tyse, G., Tamke, M., & Ramsgaard Thomsen, M. (2023). Imprimer La Lumière: Bacterial luminescence as a 3D-printed spiral micro-architecture. *able Journal*.  
<https://doi.org/10.69564/able.en.23010.imprimer>
- Mosse, R. (2017). *Incoming*. MACK.
- Myers, W. (2015). *Bio art: Altered realities*. Thames & Hudson.
- Nikon. (2018). *Nikon Z 6 reference manual*. Nikon Corporation.

- Nyholm, S. V., & McFall-Ngai, M. J. (2021). A lasting symbiosis: How the Hawaiian bobtail squid finds and keeps its bioluminescent bacterial partner. *Nature Reviews Microbiology*, 19, 666–679. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8440403/>
- Oba, Y., Kato, S.-I., Ojika, M., & Inouye, S. (2009). Biosynthesis of coelenterazine in the deep-sea copepod, *Metridia pacifica*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 390(3), 684–688. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2009.10.028>
- Ofer, N., Bell, F., & Alistar, M. (2021). Designing direct interactions with bioluminescent algae. In *Designing Interactive Systems Conference 2021* (pp. 1230–1241). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3461778.3462090>
- Oliveira, A. G., Stevani, C. V., Waldenmaier, H. E., Viviani, V. R., Emerson, J. M., Loros, J. J., & Dunlap, J. C. (2015). Circadian control sheds light on fungal bioluminescence. *Current Biology*, 25(7), 964–968. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.02.021>
- Paley, M. A., & Prescher, J. A. (2014). Bioluminescence: A versatile technique for imaging cellular and molecular features. *MedChemComm*, 5, 255–267. <https://doi.org/10.1039/C3MD00288H>
- Pataranutaporn, P., Vujic, A., Kong, D. S., Maes, P., & Sra, M. (2020). Living Bits: Opportunities and challenges for integrating living microorganisms in human-computer interaction. In *Proceedings of the Augmented Humans International Conference* (Article 30, pp. 1–12). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3384657.3384783>
- Pelentir, G. F., Bevilacqua, V. R., Kakiuchi, M., Hirano, T., & Viviani, V. R. (2026). Brighter NIR bioluminescence system for mammalian cell bioimaging based on engineered railroadworm luciferase and 6'-aminoluciferin analogues. *Chemical & Biomedical Imaging*, 4(6), 1098–1106. <https://doi.org/10.1021/cbmi.5c00163>
- Perin, L. S., Moraes, G. V., Galeazzo, G. A., & Oliveira, A. G. (2022). Bioluminescent dinoflagellates as a bioassay for toxicity assessment. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 13012. <https://doi.org/10.3390/ijms232113012>
- Prado de O. Martins, L. (2014). Privilege and oppression: Towards a feminist speculative design. In *Proceedings of DRS 2014: Design's Big Debates* (Vol. 1, pp. 980–990). Design Research Society.
- PyroFarms. (2023, June 6). *Comparing relative bioluminescence: Using the power of DSLR cameras to measure bioluminescence*. <https://pyrofarm.com/blogs/pyrofarm-blue-light-special/measuring-relative-bioluminescence-using-a-sensitive-dslr-camera-and-adobe-photoshop>
- Reyes, S., Rodriguez, R., Dikici, E., Daunert, S., & Deo, S. (2025). Bioluminescence in clinical and point-of-care testing. *Biosensors*, 15(7), 422. <https://doi.org/10.3390/bios15070422>
- Rodenburg, N. (2020). *Bioluminescence in product design: Design guidelines for cultivation and perpetuation* [Master's thesis, Delft University of Technology]. TU Delft Repository.
- Saeki, T., Masuda, N., & Jo, K. (2024). The (im)possibility of communication with nonhuman beings: With digital screen printing of luminous bacteria. *Frontiers in Communication*, 9, 1458415. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2024.1458415>

- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–675.
- Schramm, S., & Weiß, D. (2024). Bioluminescence – The vibrant glow of nature and its chemical mechanisms. *ChemBioChem*, 25(9), e202400106. <https://doi.org/10.1002/cbic.202400106>
- Schuppli, S. (2020). *Material witness: Media, forensics, evidence*. MIT Press.
- Sester, M. (2003–). *ACCESS* [Interactive public art installation]. <https://sester.net/access/>
- Shakhova, E. S., Karataeva, T. A., Markina, N. M., Mitouchkina, T., Palkina, K. A., Perfilov, M. M., Wood, M. G., Hoang, T. T., Hall, M. P., Fakhranurova, L. I., Alekberova, A. E., Malyshevskaya, A. K., Gorbachev, D. A., Bugaeva, E. N., Pletneva, L. K., Babenko, V. V., Boldyreva, D. I., Gorokhovatsky, A. Y., Balakireva, A. V., ... Mishin, A. S. (2024). An improved pathway for autonomous bioluminescence imaging in eukaryotes. *Nature Methods*, 21(3), 406–410. <https://doi.org/10.1038/s41592-023-02152-y>
- Shimizu, Y. (2023). *Tides of Light* [Multimedia bio-art installation]. BioBAT Art Space, New York.
- Smolders, V. (2023). *BioDesign for Darkness: The potentials of bioluminescence for the TU Delft Campus* [Master's thesis, Delft University of Technology].
- Spaid, S. (2002). *Ecovention: Current art to transform ecologies*. Contemporary Arts Center.
- Steyerl, H. (2013). *How not to be seen: A fucking didactic educational .MOV file* [Video]. Museum of Modern Art.
- Stinson, L. (2015, January 13). *A lamp whose light comes from bioluminescent bacteria*. WIRED. <https://www.wired.com/2015/01/lamp-whose-light-comes-bioluminescent-bacteria/>
- Su, Y., Walker, J. R., Hall, M. P., Klein, M. A., Wu, X., Encell, L. P., Casey, K. M., Liu, L. X., Hong, G., Lin, M. Z., & Kirkland, T. A. (2023). An optimized bioluminescent substrate for non-invasive imaging in the brain. *Nature Chemical Biology*, 19, 731–739. <https://doi.org/10.1038/s41589-023-01265-x>
- Syed, A. J., & Anderson, J. C. (2021). Applications of bioluminescence in biotechnology and beyond. *Chemical Society Reviews*, 50(9), 5668–5705. <https://doi.org/10.1039/D0CS01492C>
- Tang, T.-C., Tham, E., Liu, X., Yehl, K., Rovner, A. J., Yuk, H., de la Fuente-Nunez, C., Isaacs, F. J., Zhao, X., & Lu, T. K. (2021). Hydrogel-based biocontainment of bacteria for continuous sensing and computation. *Nature Chemical Biology*, 17, 724–731. <https://doi.org/10.1038/s41589-021-00779-6>
- The Art Gene. (2024). *Eduardo Kac and His Piece “Genesis”*. <https://www.theartgene.com/eduardo-kac-and-his-piece-genesis>
- Thomsen, M. R., Tamke, M., Mossé, A., Sieder-Semlitsch, J., Bradshaw, H., Buchwald, E. F., & Mosshammer, M. (2022). Imprimer La Lumière – 3D printing bioluminescence for architectural materiality. In P. F. Yuan, H. Chai, C. Yan, & N. Leach (Eds.), *Proceedings of the 2021 DigitalFUTURES* (pp. 305–315). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5983-6\\_28](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5983-6_28)



- Tian, Q., Wu, J., Xu, H., Hu, Z., Huo, Y., & Wang, L. (2022). Cryo-EM structure of the fatty acid reductase LuxC–LuxE complex provides insights into bacterial bioluminescence. *Journal of Biological Chemistry*, 298(6), 102006. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2022.102006>
- Tiberghien, G. A. (1995). *Land art*. Princeton Architectural Press.
- Trafton, A. (2017, December 12). *Engineers create plants that glow*. MIT News. <https://news.mit.edu/2017/engineers-create-nanobionic-plants-that-glow-1213>
- Trafton, A. (2021, September 17). *The next generation of glowing plants*. MIT News. <https://news.mit.edu/2021/glowing-plants-nanoparticles-0917>
- Tsarkova, A. S., Petushkov, V. N., & Yampolsky, I. V. (2021). Luciferins under construction: A review of known biosynthetic pathways for luciferins and how they might have been evolved. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 667829. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.667829>
- University of Amsterdam. (2025, July 8). *Physics meets fashion: A bioluminescent dress*. Institute of Physics. <https://iop.uva.nl/content/news/2025/07/physics-meets-fashion-a-bioluminescent-dress.html>
- Vaage, N. S. (2016). What ethics for bioart? *NanoEthics*, 10(1), 87–104. <https://doi.org/10.1007/s11569-016-0253-6>
- Valiadi, M., & Iglesias-Rodriguez, M. D. (2013). Understanding bioluminescence in dinoflagellates—How far have we come? *Microorganisms*, 1(1), 3–25. <https://doi.org/10.3390/microorganisms1010003>
- Valiadi, M., Painter, S. C., Allen, J. T., Balch, W. M., & Iglesias-Rodriguez, M. D. (2014). Molecular detection of bioluminescent dinoflagellates in surface waters of the Patagonian Shelf during early austral summer 2008. *PLOS ONE*, 9(6), e98849. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098849>
- van Dongen, T. (2014). *Ambio* [Bioluminescent light installation]. Design Academy Eindhoven.
- Viviani, V. R., Pelentir, G. F., & Bevilaqua, V. R. (2022). Bioluminescence color-tuning firefly luciferases: Engineering and prospects for real-time intracellular pH imaging and heavy metal biosensing. *Biosensors*, 12(6), 400. <https://doi.org/10.3390/bios12060400>
- Weizman, E. (2017). *Forensic architecture: Violence at the threshold of detectability*. Zone Books.
- Widder, E. A. (2010). Bioluminescence in the ocean: Origins of biological, chemical, and ecological diversity. *Science*, 328(5979), 704–708. <https://doi.org/10.1126/science.1174269>
- Yetisen, A. K., Davis, J., Coskun, A. F., Church, G. M., & Yun, S. H. (2015). Bioart. *Trends in Biotechnology*, 33(12), 724–734. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.09.011>

## ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 1.** @awaratrip. (χ.χ.). *Βιοφωταύγεια κατά μήκος της ακτογραμμής* [Instagram Reel]. Instagram. <https://www.instagram.com/reel/DUdi6NljE7o/>

**Εικόνα 2.** National Geographic. (χ.χ.). *How bioluminescence works in nature*. National Geographic. <https://biolum.eemb.ucsb.edu/organism/pictures/dino.html>

**Εικόνα 3.** Hemdal, J. (2020, October 6). *Flashlight fish in captivity*. Reef2Reef. Φωτογραφία: Martin Dohrn / Ammonite Productions. <https://www.reef2reef.com/ams/flashlight-fish-in-captivity.777/>

**Εικόνα 4.** Blakely, S. (2008, May 22). *Aequorea4.jpg* [Φωτογραφία]. Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aequorea4.jpg?uselang=en#Licensing>

**Εικόνα 5.** Glowee. (χ.χ.). *Glowurban: Integrate bioluminescence into your city projects*. <https://glowee.com/glowurban/>

**Εικόνα 6.** *Genetics and Culture*. (χ.χ.). *Microvenus — Joe Davis*. [https://www.geneticsandculture.com/genetics\\_culture/pages\\_genetics\\_culture/gc\\_w03/davis\\_microvenus.htm](https://www.geneticsandculture.com/genetics_culture/pages_genetics_culture/gc_w03/davis_microvenus.htm)

**Εικόνα 7.** Kac, E. (2000/2003). *GFP Bunny*. Eduardo Kac Official Website. [https://www.ekac.org/gfpbunny\\_essay.html](https://www.ekac.org/gfpbunny_essay.html)

**Εικόνα 8.** CLOT Magazine. (χ.χ.). *Marta de Menezes: Creating artworks that live and die*. <https://clotmag.com/biomed/marta-de-menezes-creating-artworks-that-live-and-die>

**Εικόνα 9.** Cole, H. (2005–2017). *Living Drawings / Living Light*. Hunter Cole Official Website. <https://www.huntercole.org/artwork/living-light/living-drawings>

**Εικόνα 10.** Blumenfeld, E. (2001/2011–). *Bioluminescence*. Erika Blumenfeld Official Website. Συνεργασία με Michael Latz, Scripps Institution of Oceanography. <https://erikablumenfeld.com/works/bioluminescence/>

**Εικόνα 11.** Greiner, A. (2014). *Toccata for Pyrocystis Fusiformis*. Σε συνεργασία με Sunlay Almeida Rodriguez. Tokyo Arts and Space. Φωτογραφίες: Theo Bitzer & Andreas Greiner. <https://www.tokyoartsandspace.jp/en/creator/index/G/301.html>

**Εικόνα 12.** Shimizu, Y. (2026). *Tides of Light: Meadows of the Abyss. As Above, So Below*, Official Collateral Event of the 61st International Art Exhibition – La Biennale di Venezia. <https://www.locean.org/projects/as-above-so-below>  
Βλ. επίσης την επίσημη σελίδα της καλλιτέχνης για το *Tides of Light*: <https://yokoshimizu.com/art-tides-of-light/>

**Εικόνα 13.** Saeki, T., Masuda, N., & Jo, K. (2024). *The (im)possibility of communication with nonhuman beings: With digital screen printing of luminous bacteria*. *Frontiers in Communication*. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2024.1458415>

**Εικόνα 14.** van Dongen, T. (2014). *Ambio*. Teresa van Dongen Official Website.  
<https://www.teresavandongen.com/Ambio>

**Εικόνα 15.** Barati, B., Karana, E., Pont, S., & van Dortmont, T. (2021). *Living Light Interfaces—An Exploration of Bioluminescence Aesthetics*. Proceedings of the 2021 ACM Designing Interactive Systems Conference.  
<https://doi.org/10.1145/3461778.3462038>

**Εικόνα 16.** Thomsen, M. R., Tamke, M., Mossé, A., Sieder-Semlitsch, J., Bradshaw, H., Buchwald, E. F., & Mosshammer, M. (2022). *Imprimer La Lumière – 3D Printing Bioluminescence for Architectural Materiality*. Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-16-5983-6\\_28](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5983-6_28)

**Εικόνα 17.** Glowee. (2023). *Rambiolum*, βιοφωταυγές αστικό έπιπλο στο Rambouillet. Τεκμηρίωση: Light ZOOM Lumière.  
<https://www.lightzoomlumiere.fr/interview/mobilier-urbain-bioluminescent-dans-la-ville-de-rambouillet/>

**Εικόνα 18.** Iris van Herpen. (2022, July 6). *Iris van Herpen ~ Meta Morphism* [Video]. YouTube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=pL\\_0eMvzU7s](https://www.youtube.com/watch?v=pL_0eMvzU7s)

**Εικόνα 19.** Mediated Matter Group / Oxman, N. (2015). *Living Mushtari*, από τη συλλογή *Wanderers*. MIT Media Lab.  
<https://www.media.mit.edu/projects/living-mushtari/overview/>  
Βλ. επίσης:  
<https://www-prod.media.mit.edu/projects/wanderers/overview/>

**Εικόνα 20.** Gray, J. (χ.χ.). *Fireflies over Niobrara wetlands* [Photograph]. U.S. National Park Service.  
<https://www.nps.gov/media/photo/gallery-item.htm?gid=55C57A7F-155D-4519-3EE26FD054751A87&id=c7d4ef80-97a3-4ede-8aa2-987045e44370&pg=0>

**Εικόνα 21.** Holt, N. (1973–1976). *Sun Tunnels*. Holt/Smithson Foundation.  
<https://holtsmithsonfoundation.org/sun-tunnels>

**Εικόνα 22.** The Long Now Foundation. (2019). *James Turrell's Roden Crater, an Artwork 45 Years in the Making, Set to Open...Sooner*.  
<https://longnow.org/ideas/james-turrells-roden-crater-an-artwork-45-years-in-the-making-set-to-open-sooner/>

**Εικόνα 23.** Frontex – European Border and Coast Guard Agency. (χ.χ.). *Εναέρια επιτήρηση των εξωτερικών συνόρων της ΕΕ* [Video / screenshot]. Facebook.  
<https://www.facebook.com/frontex/>

**Σημείωση ελέγχου:** από τη λεζάντα δεν εντοπίζεται το ακριβές Facebook post/video. Για τελική ακαδημαϊκή τεκμηρίωση χρειάζεται το permalink του συγκεκριμένου βίντεο.

**Εικόνα 24.** Scherl Bilddienst. (1936, September 11). *Nürnberg, Reichsparteitag, Lichtdom* [Photograph, Bild 183-2006-0329-502]. Bundesarchiv.  
<https://www.bild.bundesarchiv.de/dba/de/search/?query=Bild+183-2006-0329-502>

**Εικόνα 25.** Lozano-Hemmer, R. (2019). *Border Tuner / Sintonizador Fronterizo*. Rafael Lozano-Hemmer Official Website.  
[https://lozano-hemmer.com/artworks/border\\_tuner\\_sintonizador\\_fronterizo.php](https://lozano-hemmer.com/artworks/border_tuner_sintonizador_fronterizo.php)

**Εικόνα 26.** Sester, M. (2003). *ACCESS*. Marie Sester Official Website.  
<https://sester.net/access/>

**Εικόνα 27.** Mosse, R. (2014–2017). *Incoming*. Φωτογραφία εγκατάστασης: David Gallard. CapitArt.  
<https://capitart.com/brut-art-in-the-age-of-techno-art/>

**Εικόνα 28.** Mosse, R. (2017). *Grid (Moria)*. Courtesy of the artist, Jack Shainman Gallery and earlier | gebauer. *Brightening Air / Coiscéim Coiligh*.  
<https://brighteningair.com/experiences/richard-mosse-grid-moria-incoming>

**Εικόνα 29.** Forensic Oceanography / Forensic Architecture. (2012). *The Left-to-Die Boat*.  
<https://forensic-architecture.org/investigation/the-left-to-die-boat>

**Εικόνα 30.** Forensic Architecture. (2020). *Cloud Studies*.  
<https://forensic-architecture.org/investigation/cloudstudies>  
Βλ. επίσης Ars Electronica / S+T+ARTS Prize:  
<https://ars.electronica.art/starts-prize/en/cloud-studies/>

**Εικόνα 31.** Czerwińska, E., Życzkowski, M., Ciurapiński, W., Zawadzki, Z., & Brawata, S. (2021). *Detection of Inflatable Boats and People in Thermal Infrared with Deep Learning Methods*. *Sensors*, 21(16), 5330. <https://doi.org/10.3390/s21165330>

**Εικόνα 32.** Dana, F. (2018, May 7). *Επιχείρηση διάσωσης προσφύγων και μεταναστών από την Proactiva Open Arms στη Μεσόγειο* [Φωτογραφία]. Associated Press. Αναδημοσίευση στο *The Times of Israel*, 11 Ιουνίου 2018.  
<https://www.timesofisrael.com/hundreds-of-migrants-stranded-at-sea-as-italy-malta-close-doors/>

**Εικόνα 35.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορητής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου

**Εικόνα 36.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορητής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου

**Εικόνα 37.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορητής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου

**Εικόνα 38.** Σκίτσο ανάπτυξης της φορητής κατασκευής *Ceasefire!* πάνω σε έτοιμο γραφικό πρότυπο ανθρώπινου σώματος. Σχέδιο Χ.Παναγιωτοπούλου

**Εικόνα 39 - 45.** Φωτογραφίες από την διαδικασία κατασκευής μακέτας προσομοίωσης *Ceasefire!*

Author's Statement:

I hereby expressly declare that, according to the article 8 of Law 1559/1986, this dissertation is solely the product of my personal work, does not infringe any intellectual property, personality and personal data rights of third parties, does not contain works/contributions from third parties for which the permission of the authors/beneficiaries is required, is not the product of partial or total plagiarism, and that the sources used are limited to the literature references alone and meet the rules of scientific citations