



Funded by
the European Union



ERASMUS+
2025-1- TR01-KA220-HED-00000362153

**INCREASING KNOWLEDGE AND AWARENESS WITH APPROPRIATE CHANGES IN THE
UNIVERSITY CURRICULUM TO ENSURE SUSTAINABILITY OF REDUCING THE WATER
FOOTPRINT RESULTING FROM MARITIME ACTIVITIES**

WP2: LECTURE NOTES
IEA - ITALY
Sep-Oct 2026

Lesson 3 - Eutrophication and Pollution



**KARADENİZ
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY
1955



**University of
Zagreb**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



**ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE**



Funded by
the European Union



ERASMUS+
2025-1- TR01-KA220-HED-00000362153

Accrescere le conoscenze e la consapevolezza attraverso opportune modifiche ai programmi di studio universitari, per garantire la sostenibilità della riduzione dell'impronta idrica derivante dalle attività marittime

WP2: LECTURE NOTES
IEA - ITALY
Sep-Oct 2026

Lesson 3 - Eutrofizzazione e Inquinamento



**KARADENİZ
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY
1955



**University of
Zagreb**



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



**ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE**



LEZIONE 3: EUTROFIZZAZIONE E INQUINAMENTO



Funded by
the European Union



1. Eutrofizzazione e inquinamento

L'eutrofizzazione può essere definita come l'eccessivo arricchimento di un corpo idrico con nutrienti, principalmente azoto e fosforo, che porta a un aumento della produzione primaria e al conseguente degrado della qualità dell'acqua e dell'ambiente acquatico. Con il progresso della tecnologia e dell'industrializzazione, il termine inquinamento si è ampliato in diverse sottocategorie. Queste includono: inquinamento organico, inquinamento inorganico, inquinamento acustico, inquinamento luminoso, inquinamento radioattivo, inquinamento termico.





Funded by
the European Union



1.1. Eutrofizzazione

L'eutrofizzazione è un processo innescato dall'eccessivo accumulo di nutrienti, come azoto (N) e fosforo (P), nei corpi idrici, che porta a una serie di problemi ecologici. Questo fenomeno deriva principalmente da fattori antropogenici, come l'agricoltura, l'urbanizzazione e le attività industriali, che aumentano il flusso di nutrienti nei sistemi acquatici (Wilkinson et al., 2017; Wurtsbaugh et al., 2019; Wang et al., 2021). Di conseguenza, l'eccesso di nutrienti stimola la proliferazione di alghe e altre piante acquatiche, alterando il naturale equilibrio degli ecosistemi acquatici. L'eutrofizzazione non solo porta a fioriture algali nocive (HAB) e ipossia, ma causa anche un declino della qualità dell'acqua, con un impatto significativo sulla biodiversità e sui servizi ecosistemici (Ferrera et al., 2016; Glibert et al., 2017; Malone & Newton, 2020).





Funded by
the European Union



Le ricerche attuali indicano che il processo di eutrofizzazione, causato dall'accumulo di nutrienti in eccesso (soprattutto azoto e fosforo), porta a cambiamenti vitali all'interno dell'ecosistema. Questo arricchimento innesca la proliferazione algale che consuma l'ossigeno disciolto, creando "zone morte" ipossiche in cui la vita marina non può sopravvivere. Sebbene questo fenomeno possa verificarsi naturalmente, è per lo più causato da attività umane come il deflusso agricolo, i rifiuti industriali e le acque reflue non trattate. Quando le condizioni si deteriorano fino al punto di ipossia, si verificano gravi conseguenze ecologiche, tra cui morie di massa di pesci, perdita di biodiversità e distruzione di barriere coralline e praterie di fanerogame marine (Wang, 2024).

L'eutrofizzazione negli ecosistemi acquatici può essere suddivisa in due categorie principali:





Funded by
the European Union



1. Eutrofizzazione naturale:

L'eutrofizzazione naturale è un processo graduale, che si protrae per secoli, nell'evoluzione di un ecosistema acquatico. Con il passare di centinaia o migliaia di anni, i laghi accumulano naturalmente sedimenti, materiale vegetale e nutrienti. Questo lento accumulo finisce per riempire il bacino lacustre, che può quindi essere colonizzato dalla vegetazione terrestre, un processo noto come invecchiamento del lago. Questo processo è tipicamente alimentato dall'accumulo naturale di minerali fosfatici disciolti e materia organica proveniente da piante morte. L'eutrofizzazione naturale si verifica su scale temporali geologiche ed è regolata dai cambiamenti climatici, dalla geologia e da altre influenze esterne (Day et al., 2024; Kennish, 2024).





Funded by
the European Union



Le condizioni ipossiche possono verificarsi naturalmente negli ecosistemi acquatici. I modelli naturali di circolazione del vento e dell'acqua possono trasportare acque profonde e ricche di nutrienti verso la superficie. Questo afflusso di nutrienti può innescare massicce fioriture di fitoplancton, anche in assenza di deflusso antropogenico (causato dall'uomo). Barriere fisiche, come le soglie poco profonde all'imboccatura dei fiordi o del Mar Nero, possono intrappolare l'acqua per lunghi periodi, impedendo il rimescolamento degli strati più profondi e ostacolando la riossigenazione (Day et al., 2024; Kennish, 2024). Le zone morte derivanti dall'eutrofizzazione innescano una devastante catena di impatti ecologici che sconvolgono l'equilibrio degli ecosistemi acquatici, che vanno da morie biologiche su larga scala a cambiamenti a lungo termine nella struttura delle comunità.





2. Eutrofizzazione artificiale (antropogenica)

L'eutrofizzazione artificiale o antropogenica si verifica quando le attività umane causano un apporto eccessivo di nutrienti, in particolare azoto e fosforo, negli ecosistemi acquatici (MSFD, 2008). Questo processo progredisce molto più rapidamente dell'eutrofizzazione naturale e spesso supera la capacità di auto-rigenerazione dell'ecosistema. Le principali fonti di eutrofizzazione indotta dall'uomo sono le seguenti:



1. Attività agricole e utilizzo di fertilizzanti:

Le moderne pratiche agricole sono la causa principale dell'apporto di nutrienti nei sistemi acquatici. Una parte dei fertilizzanti chimici (NPK) applicati al suolo non viene assorbita dalle piante; questi nutrienti vengono invece trasportati nei fiumi, nei laghi e nelle acque costiere tramite le precipitazioni e l'irrigazione. Inoltre, i rifiuti provenienti dagli allevamenti di bestiame e pollame contengono elevate concentrazioni di ammoniaca e fosfati. Il dilavamento da queste fonti contamina sia le acque sotterranee che il deflusso superficiale (Direttiva sui nitrati, 1991).



Funded by
the European Union



2. Acque reflue urbane e domestiche:

gli scarichi provenienti dalle aree residenziali sono fonti dirette di inquinamento idrico. I fosfati presenti in alcuni prodotti per la pulizia raggiungono le risorse idriche attraverso le reti fognarie. Nei casi in cui gli impianti di depurazione delle acque reflue siano inadeguati o effettuino solo un trattamento fisico (sedimentazione), l'azoto e il fosforo vengono rilasciati nell'acqua senza essere rimossi biologicamente.



Funded by
the European Union



3. Scarichi industriali:

Le acque reflue provenienti dagli impianti industriali possono contenere elevate concentrazioni di nutrienti a seconda del processo produttivo. I rifiuti provenienti da industrie come caseifici, macelli e zuccherifici sono estremamente ricchi di materia organica. Le sostanze chimiche utilizzate nei processi produttivi, una volta scaricate nell'ambiente circostante, possono causare inquinamento.





4. Deposizione atmosferica:

l'inquinamento atmosferico causa indirettamente l'inquinamento idrico (eutrofizzazione). Gli ossidi di azoto (NO_x) rilasciati nell'atmosfera dalle centrali elettriche e dai gas di scarico dei veicoli si depositano sulle superfici acquatiche attraverso le precipitazioni (piogge acide) o la deposizione secca. Questa è una fonte significativa di azoto, in particolare per le acque costiere e il mare aperto.



Funded by
the European Union



5. Cambiamenti nell'uso del suolo:

la distruzione della vegetazione aumenta l'erosione. Insieme al suolo, il fosforo legato alle particelle del suolo viene trasportato nei corpi idrici. Inoltre, il drenaggio o la distruzione delle zone umide, che fungono da sistemi di filtraggio naturali, permette all'inquinamento di origine terrestre di raggiungere il mare senza essere filtrato.





1.2. Effetti dell'eutrofizzazione sugli ecosistemi acquatici

La risposta immediata all'eccesso di nutrienti è la crescita esplosiva del fitoplancton, che porta a dense fioriture algali e di cianobatteri. Negli ecosistemi costieri, la dominanza si sposta dalla naturale ed equilibrata diversità del fitoplancton e dalle fanerogame marine perenni a specie opportuniste a crescita rapida. Queste fioriture creano una copertura in superficie che impedisce alla luce solare di raggiungere le acque più profonde. Privata della luce, la vegetazione acquatica sommersa non può svolgere la fotosintesi e alla fine muore, creando un ciclo in cui la sua decomposizione accelera ulteriormente l'esaurimento dell'ossigeno. La proliferazione di specie opportuniste resistenti favorisce le fioriture algali nocive (HAB) che producono potenti tossine. Alcuni cianobatteri e dinoflagellati producono neuro- ed epatotossine che possono uccidere direttamente pesci, mammiferi marini e bestiame. Queste tossine risalgono la catena alimentare, potenzialmente avvelenando gli esseri umani che consumano molluschi contaminati (ad esempio, intossicazione paralitica o neurotossica da molluschi). La perdita di specie chiave sensibili e la comparsa di specie invasive possono portare a un collasso totale della funzione dell'ecosistema e all'interruzione dei flussi energetici storici (Le Moal et al., 2019).



L'eutrofizzazione provoca danni strutturali specifici agli ecosistemi di alto valore:

Barriere coralline: l'ipossia provoca lo sbiancamento dei coralli, la riduzione della calcificazione e la mortalità di massa, consentendo ad alghe più resistenti di soffocare la barriera corallina.

Praterie di fanerogame marine : la deossigenazione riduce la diversità degli organismi che vivono in questi letti, innescando un circolo vizioso in cui la morte causa maggiore decomposizione e un aumento del fabbisogno di ossigeno.

Foreste di mangrovie: l'apporto di nutrienti proveniente dagli allevamenti di gamberi e da altre fonti può spingere questi microhabitat al limite, causando ipossia con cicli giornalieri e la perdita di aree essenziali per la riproduzione dei pesci.

Zone umide costiere: l'eccessivo apporto di nutrienti è stato collegato alla perdita strutturale delle paludi salmastre, tra cui il crollo delle sponde dei corsi d'acqua e la trasformazione delle paludi vegetate in zone fangose prive di vegetazione.





Oltre alle perdite biologiche, l'eutrofizzazione altera la composizione chimica della colonna d'acqua e interagisce con tendenze ambientali più ampie:

Acidificazione degli oceani: la decomposizione della materia organica produce grandi quantità di CO_2 , che abbassa il pH dell'acqua di mare. Questa acidificazione rallenta la crescita dei pesci e impedisce ai molluschi calcificanti di costruire i loro gusci.

Emissioni di gas serra: le alghe in decomposizione subiscono una digestione anaerobica, rilasciando metano (CH_4) e CO_2 , contribuendo ulteriormente al cambiamento climatico.

Amplificazione climatica: l'aumento delle temperature globali aggrava questi effetti riducendo la solubilità dell'ossigeno e intensificando la stratificazione della colonna d'acqua, impedendo all'ossigeno di mescolarsi con gli strati più profondi.



1.3. Impatto dell'eutrofizzazione sui servizi ecosistemici

L'eutrofizzazione e l'espansione delle zone morte impongono oneri socio-economici significativi, compromettendo i servizi ecosistemici e causando perdite finanziarie dirette alle industrie che dipendono da ambienti acquatici sani. Con la continua crescita della popolazione umana in prossimità delle coste, l'intersezione tra danno ecologico e attività economica crea sfide gestionali sempre più complesse.



Pesca e acquacoltura:

le conseguenze economiche più dirette si avvertono nei settori della pesca commerciale e ricreativa.

Resa ittica: Sebbene l'arricchimento di nutrienti possa talvolta portare ad aumenti temporanei nella resa di alcune specie pelagiche, come le acciughe, l'effetto netto è una diminuzione della produttività a causa del collasso delle popolazioni bentoniche e dello spostamento dei pesci.

Perdite economiche: nel Golfo del Messico, la zona morta minaccia la pesca commerciale, il cui valore in termini di valore delle merci molibili ammonta a centinaia di milioni di dollari; in quest'area, la pesca ricreativa ha storicamente contribuito all'economia regionale con circa 10 miliardi di dollari (Pickard et al., 1982).

Acquacoltura: le fioriture algali nocive (HAB) possono causare la morte di massa delle specie allevate, mentre le fioriture di meduse che proliferano nelle zone morte possono intasare o distruggere reti e imbarcazioni da pesca.

Costi dei prodotti ittici: la riduzione dei raccolti e la perdita di habitat ittici essenziali comportano catture inferiori e prodotti ittici più costosi per i consumatori (Le Moal et al., 2019).



Turismo e valore estetico:

il degrado visivo e fisico dei corpi idrici ha un impatto grave sul settore turistico.

Degrado del paesaggio: l'accumulo massiccio di alghe, i cattivi odori derivanti dalla decomposizione e lo scolorimento dell'acqua riducono il valore estetico percepito delle aree costiere e lacustri.

Chiusura delle spiagge: gli alti livelli di batteri e alghe tossiche durante le fioriture algali portano alla chiusura delle spiagge per garantire la sicurezza pubblica, riducendo direttamente le entrate derivanti dalle attività ricreative per le comunità locali (FAO, 2023).

Valore degli immobili: l'eutrofizzazione persistente e le frequenti morie di pesci possono portare a un calo del valore degli immobili residenziali e commerciali situati in prossimità dei corpi idrici interessati.



Salute pubblica:

l'eutrofizzazione comporta rischi diretti per la salute umana e aumenta il costo dei servizi essenziali.

Sicurezza dell'acqua potabile : un eccesso di nitrati nell'acqua potabile può causare la "sindrome del bambino blu" nei neonati, mentre le tossine derivanti dalla proliferazione di alghe nocive possono provocare eruzioni cutanee, problemi respiratori o danni neurologici in caso di contatto diretto o ingestione.

Avvelenamento da molluschi: le biotossine prodotte durante le fioriture algali si accumulano nei molluschi, causando patologie potenzialmente letali come l'avvelenamento paralitico o neurotossico da molluschi negli esseri umani che consumano frutti di mare contaminati.



Funded by
the European Union



1.4. Perdite economiche causate dall'eutrofizzazione

L'eutrofizzazione innesca una serie di oneri finanziari, che vanno dall'aumento dei costi delle utenze a ingenti investimenti infrastrutturali.

Costi di trattamento: le reti idriche devono affrontare spese maggiori per il trattamento dell'acqua potabile a causa dell'aumento della torbidità, dei sapori sgradevoli e degli odori causati dalla proliferazione algale.

Costi operativi e di gestione: i governi e le industrie sostengono costi considerevoli per le attività di mitigazione e bonifica.

Programmi di mitigazione: con l'intensificarsi dell'arricchimento di nutrienti, sorgono costi significativi per i programmi di mitigazione, adattamento e resilienza, in particolare nelle aree urbanizzate.

Investimenti infrastrutturali: le misure tradizionali di riduzione dei nutrienti, come l'ammodernamento degli impianti di trattamento delle acque reflue, richiedono ingenti investimenti di capitale. Ad esempio, un progetto di modellizzazione ha suggerito che le misure convenzionali nel Connecticut potrebbero costare fino a 470 milioni di dollari.

Operazioni subacquee: l'elevata torbidità e la scarsa visibilità causate dalla proliferazione algale possono interrompere attività subacquee vitali, tra cui operazioni marittime, immersioni commerciali e manutenzione delle linee di comunicazione.



ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE

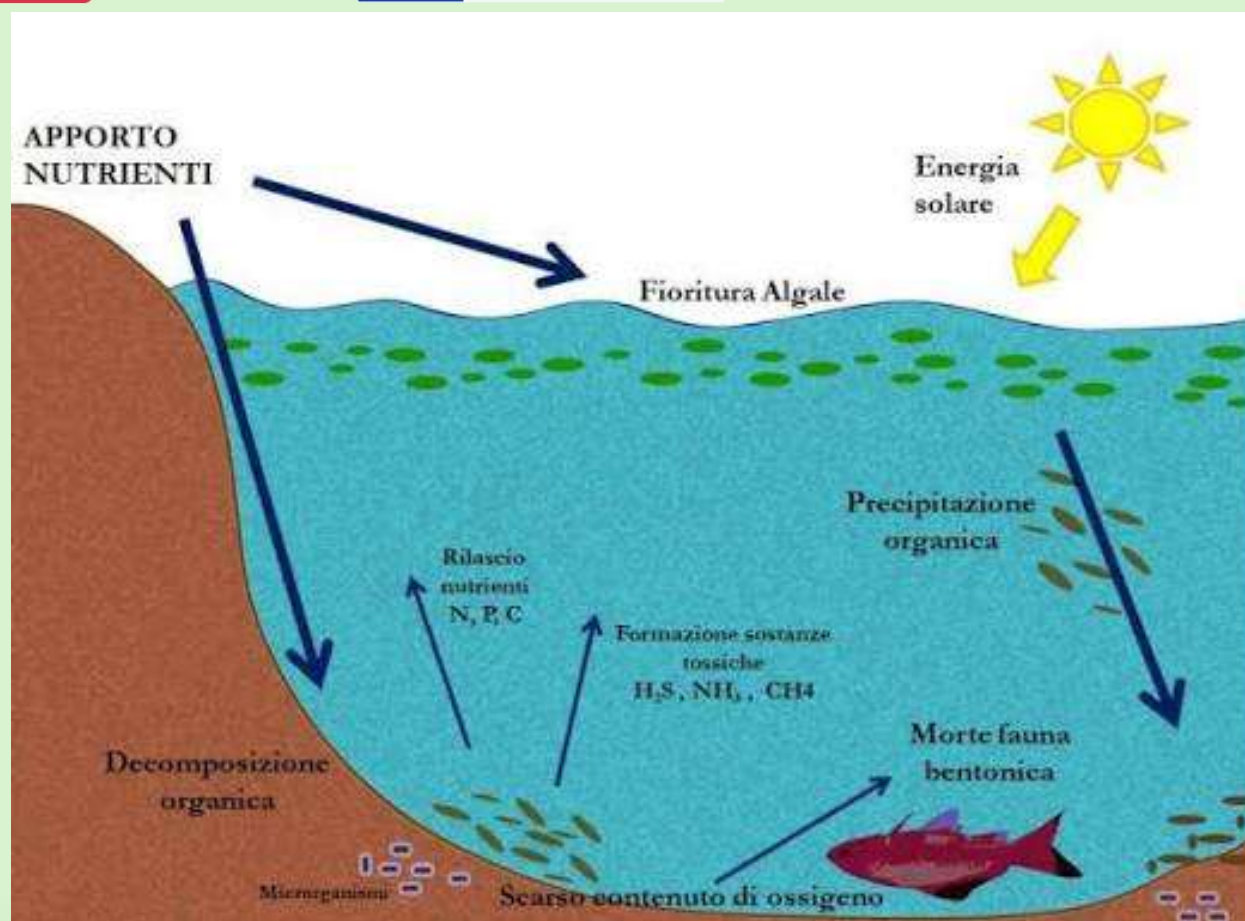


Figura 1: Eutrofizzazione



Funded by
the European Union



2. INQUINAMENTO

L'inquinamento è un problema che esiste fin dall'antichità (Markham, 1994). È noto che durante il Neolitico (10.000 a.C.), gli escrementi umani venivano trattati con la terra per lo smaltimento. Successivamente, documenti relativi alla città di Ur, che contava 65.000 abitanti nel 3500 a.C., mostrano che i rifiuti venivano spazzati per le strade, con il risultato che il livello stradale superava l'altezza delle porte delle case (<http://www.cefns.nau.edu/Projects/WDP/resources/History/History.htm#evolution>). La gestione dei rifiuti fece la sua comparsa tra i Greci intorno al 500 a.C. Con l'aumento della popolazione, un numero crescente di batteri e malattie iniziò a minacciare le persone. Durante il Medioevo, epidemie di colera e tifo sconvolsero tutta l'Europa. La mancanza di abitudini igieniche è alla base di queste frequenti epidemie e delle conseguenti morti. La mancata raccolta e il mancato controllo degli escrementi umani e animali e dei rifiuti portarono a questo esito. Nel 1347, la peste nota come "Morte Nera" (causata da *Yersinia pestis*), trasmessa all'uomo tramite le punture di pulci trasportate dai ratti, provocò un'enorme mortalità collettiva in quel periodo (epidemia). In quell'epoca, le condizioni igieniche precarie (aree contaminate) fornivano l'ambiente ideale per la crescita e la diffusione di batteri letali. Successivamente, all'inizio del XIX secolo, si iniziò a comprendere la necessità di migliorare le condizioni igieniche e di trattamento delle acque contaminate. Con questa nuova consapevolezza, si iniziò a tenere sotto controllo i rifiuti nelle grandi città. Verso la metà del 1850, a Chicago fu realizzato il primo sistema fognario in America e iniziò il trattamento delle acque reflue (evrimağacı, 2026).





Si possono formulare molte definizioni di inquinamento; alcune di queste includono:

- Può essere definita come la contaminazione di acqua, suolo e aria con sostanze (materiali di scarto) che influiscono negativamente sulla salute umana e sull'ambiente (AHD, 1982 in NOAA 2013).
- In parole semplici, l'inquinamento è qualcosa che si trova nel posto sbagliato, al momento sbagliato e nella quantità sbagliata (Holdgate, 1979).

Il termine inquinamento deriva dal latino "polluere", che significa "sporcare, contaminare o sporcare".

Oggi, i fattori che causano l'inquinamento sono quasi innumerevoli. Tra questi, le fuoriuscite di petrolio, gli scarichi fognari, i pesticidi, i metalli pesanti, il fumo e persino il rumore sono considerati agenti inquinanti. In alcuni casi, quando si parla di inquinamento, non è il tipo di sostanza, ma la sua concentrazione a costituirne la causa. L'inquinamento viene definito in base alla sua origine, al tipo di agente inquinante e all'ambiente in cui si verifica.



Funded by
the European Union



2.1. Inquinamento per fonte

a) Fonte puntiforme:

Secondo l'EPA (Agenzia per la protezione ambientale degli Stati Uniti), la definizione di fonte puntiforme è "inquinamento scaricato in un ambiente ricevente da una fonte definita, come una tubatura, una nave, una ciminiera di una fabbrica o un fossato" (Hill, 1997). Le fonti che possono essere identificate come fonti puntiformi includono: fabbriche e impianti di trattamento delle acque reflue, raffinerie, rifiuti dell'industria cartaria e scarichi delle industrie chimiche, elettroniche e automobilistiche. Queste fonti contengono una vasta gamma di inquinanti combinati. Gli scarichi incontrollati da fonti puntiformi rappresentano seri rischi sia per gli esseri umani che per gli organismi che vivono nell'ambiente. Ad esempio, causano impatti negativi sulle risorse di acqua potabile, sulle attività di pesca e sulla qualità delle acque di balneazione (successiva Figura 2).





b) Fonti non puntuali:

Le fonti non puntuali si verificano generalmente quando le acque superficiali, formate dallo scioglimento della neve o dall'acqua piovana, scorrono da diverse località e si mescolano nell'ambiente ricevente. Durante il loro percorso, queste acque raccolgono gli inquinanti che incontrano e li trasportano nei corpi idrici riceventi (USEPA, 2004). L'inquinamento improvviso da fonti non puntuali ha un impatto negativo significativo non solo sulla salute umana, ma anche sull'economia. Ad esempio, le inondazioni sommergeranno aree agricole e abitazioni, trascinando tutto ciò che incontrano nell'ambiente ricevente, causando sia l'inquinamento di mari e laghi sia, di conseguenza, ingenti danni economici. Poiché le fonti non puntuali entrano nell'ambiente ricevente da diverse località, sono molto difficili da controllare. La gestione dell'inquinamento da fonti non puntuali è molto più complessa e costosa rispetto a quella da fonti puntuali. Sebbene la concentrazione di alcuni inquinanti provenienti da fonti non puntuali possa essere inferiore a quella proveniente da fonti puntuali, il carico inquinante totale è spesso maggiore perché ha origine da molteplici punti diversi.



Esempi di inquinamento da fonti non puntuali includono:

- inquinamento urbano da fonti non puntuali
 - inquinamento agricolo
 - inquinamento atmosferico
- inquinamento forestale e minerario
 - porti turistici e imbarcazioni
- nutrienti (nutrienti rilasciati attraverso fioriture di fitoplancton, macroalghe e morie di massa di pesci)
 - inquinamento da sedimenti
- pesticidi e sostanze chimiche tossiche
 - batteri, virus e detriti (Figura 2)



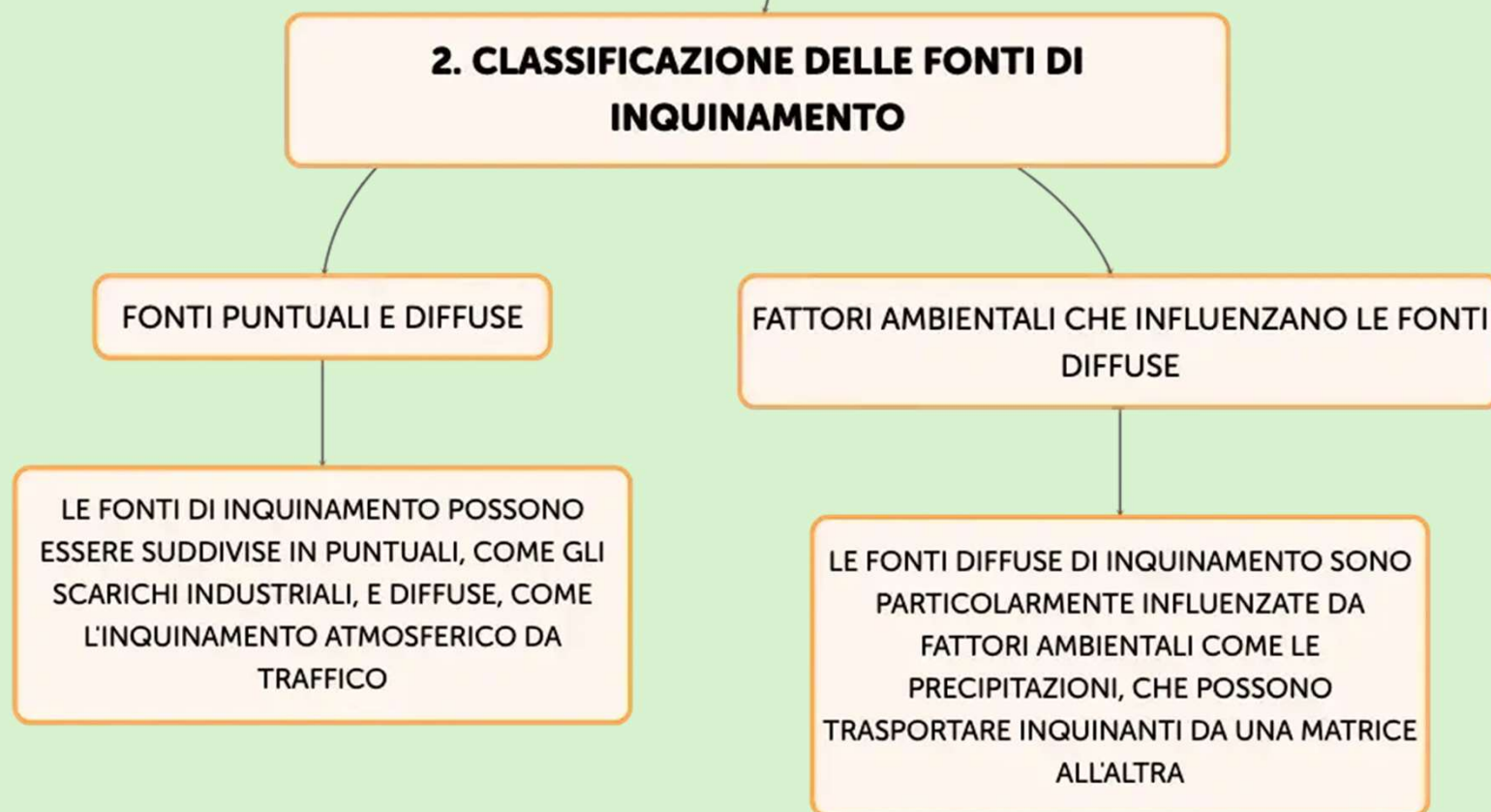


Figura 2: Fonti di inquinamento da fonti puntuali



2.2. In base al tipo di inquinante

1. Inquinamento organico: L'inquinamento organico si verifica a seguito di attività sia naturali che antropiche. Le principali cause di inquinamento organico negli ambienti riceventi includono pesticidi (insetticidi), erbicidi (diserbanti) e altri biocidi utilizzati per eliminare gli organismi indesiderati. Inoltre, il petrolio e i suoi derivati sono classificati come inquinanti organici. Gli inquinanti organici domestici, provenienti da acque reflue domestiche e municipali, industrie alimentari, industrie conserviere, macelli, cartiere, concerie, birrifici, distillerie, ecc., sono costituiti da composti organici biodegradabili.





Funded by
the European Union



- **Composti organici sintetici:** si tratta di sostanze organiche prodotte dall'uomo per scopi specifici. Entrano nell'ecosistema attraverso attività come sversamenti o utilizzo. Sono classificati in composti organici persistenti e volatili. In generale, questi includono pesticidi sintetici (POP), detergenti sintetici, additivi alimentari, farmaci, insetticidi, coloranti, fibre sintetiche, materie plastiche, solventi, composti organici volatili (COV) e PCB (POP). La maggior parte di questi composti è tossica e resistente alla degradazione microbica.
- **Petrolio e derivati:** Il petrolio è un prodotto naturale formatosi dalla fossilizzazione di materia vegetale in ambiente marino nel corso di milioni di anni. È una miscela complessa di idrocarburi e può essere degradato dall'azione batterica; tuttavia, la velocità di biodegradazione varia a seconda del tipo e del contenuto (ad esempio, il catrame è uno dei più lenti). Il petrolio contamina gli ambienti riceventi attraverso infiltrazioni naturali, perdite da oleodotti, produzione, consumo, raffinerie, incidenti e scarichi illegali. Essendo più leggero dell'acqua, si diffonde sulla superficie, interrompendo il contatto tra acqua e aria e causando quindi una diminuzione dell'ossigeno disciolto (OD). È inoltre responsabile della minaccia per gli uccelli acquatici e le piante costiere a causa del rivestimento oleoso e influisce negativamente sulle normali attività biologiche. Inoltre, riduce la trasmissione della luce attraverso le acque superficiali, diminuendo l'attività fotosintetica delle piante acquatiche. Il petrolio contiene idrocarburi policiclici aromatici (IPA), alcuni dei quali sono noti cancerogeni.





Funded by
the European Union



- **Inquinanti organici persistenti (POP):** queste sostanze chimiche, prodotte sinteticamente e commercializzate dopo la Seconda Guerra Mondiale, hanno visto un massiccio aumento della produzione una volta dimostrata la loro efficacia nel controllo di parassiti e malattie, nella produzione agricola e nell'industria. Nel tempo, sono stati rilevati effetti imprevisti nel suolo, negli ambienti riceventi e negli organismi viventi. Ora sappiamo che queste sostanze chimiche utilizzate in agricoltura e nell'industria hanno effetti letali. Ad esempio, **il DDT** è probabilmente la sostanza chimica più prodotta e utilizzata nella storia. Dal 1940 è stato utilizzato attivamente in agricoltura (cotone) e per combattere i vettori di malattie (tifo, malaria). Tuttavia, dopo che sono emersi i suoi effetti nocivi a lungo termine sia sull'uomo che sulla fauna selvatica, l'EPA ne ha vietato l'uso nel 1972, seguita da molti altri paesi. In Turchia, il suo utilizzo è stato legalmente vietato negli anni '80. Il DDT ha un'emivita molto lunga e la ricerca scientifica ha dimostrato che i suoi prodotti di trasformazione, DDD e DDE, sono dannosi per l'ecosistema quanto il DDT stesso, possedendo effetti cancerogeni e mutageni. Gli inquinanti organici vengono generalmente studiati suddividendoli in quattro gruppi: pesticidi, PCB, diossine/furani e IPA (idrocarburi policiclici aromatici).





Funded by
the European Union



2. Inquinamento inorganico:

questa categoria comprende l'inquinamento da nutrienti e metalli pesanti.





Funded by
the European Union



- **Metalli:** Elementi con elevata conduttività elettrica e termica, lucentezza caratteristica, malleabilità, elevata tendenza a formare cationi e che tipicamente formano ossidi basici quando combinati con l'ossigeno (ad esempio, oro, argento, platino, ferro, zinco, alluminio).
- **Metalloidi:** elementi con proprietà intermedie tra metalli e non metalli (ad esempio, boro, silicio, germanio, arsenico, antimonio e tellurio).
- **Metalli pesanti:** metalli con elevato peso atomico (ad esempio, arsenico, cadmio, rame, mercurio, piombo e zinco). Le discussioni sull'inquinamento da metalli si concentrano principalmente sui metalli pesanti. Tra questi, i **metalli in tracce** sono necessari agli organismi viventi in quantità molto ridotte. Ad esempio, il ferro è essenziale per l'emoglobina, il rame per l'emocianina (negli invertebrati) e lo zinco è un componente di molti enzimi. Questi elementi non contribuiscono alla salinità dell'acqua di mare e la loro concentrazione è inferiore a 1 mg/kg. Nell'analisi degli elementi in tracce, è fondamentale determinare se i metalli entrano nell'ambiente naturalmente o attraverso l'inquinamento.
- **Inquinamento da metalli pesanti:** i metalli pesanti presenti in quantità superiori ai livelli naturali causano inquinamento ed effetti tossici. La tossicità dei metalli è correlata al loro stato di valenza (ad esempio, Cu^{2+} rispetto a Cu^{4+}). Le fonti di inquinamento da metalli pesanti nei mari includono la deposizione atmosferica, gli incendi boschivi, le eruzioni vulcaniche, le polveri, l'industria, i gas di scarico dei veicoli e la combustione del carbone.



ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE



Funded by
the European Union



3. Inquinamento acustico sottomarino:

il rumore sottomarino causato dal traffico navale e dalle prospezioni sismiche rappresenta una seria minaccia per la vita marina e i mammiferi.

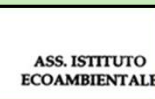


Funded by
the European Union



4. Inquinamento luminoso:

Si tratta di un inquinamento derivante dall'uso della luce in luoghi, quantità e direzione errati. Complica le osservazioni astronomiche e disturba l'orientamento e la navigazione degli uccelli migratori e delle tartarughe marine.





5. Inquinamento radioattivo:

si tratta della contaminazione di aria, acqua e suolo da sostanze radioattive rilasciate nell'ambiente tramite test nucleari, incidenti in centrali nucleari, rifiuti sanitari e infiltrazioni naturali. L'inquinamento radioattivo è uno dei tipi più pericolosi, in quanto può causare mutazioni genetiche e tumori.



Funded by
the European Union



6. Inquinamento termico:

si riferisce all'aumento della temperatura dell'acqua causato dallo scarico di acqua calda di raffreddamento proveniente da impianti industriali e centrali nucleari nei corpi idrici, e ai conseguenti impatti negativi sull'ecosistema.



Funded by
the European Union



2.3. Inquinamento ambientale

a) Inquinamento atmosferico: l'accumulo di emissioni nell'atmosfera derivanti dall'uso di combustibili fossili, camini industriali e gas di scarico. A seguito di tale accumulo, si verificano numerosi effetti negativi, come l'effetto serra, l'assottigliamento dello strato di ozono e le malattie respiratorie, che colpiscono negativamente sia gli organismi viventi sia gli ecosistemi marini e terrestri.

b) Inquinamento idrico: Gli ecosistemi acquatici, definiti come recettori generali, sono influenzati da inquinanti e contaminazioni provenienti da fonti terrestri e atmosferiche. Si tratta del degrado chimico, fisico o biologico degli ecosistemi acquatici (oceani, laghi, fiumi e acque sotterranee) dovuto ad attività di navigazione, rifiuti industriali, prodotti chimici agricoli (pesticidi), acque reflue, petrolio greggio e prodotti petroliferi (plastica, reti fantasma, ecc.).

c) Inquinamento del suolo: i rifiuti che penetrano nella struttura del suolo, come la fertilizzazione eccessiva, le discariche di rifiuti solidi, i metalli pesanti, le fuoriuscite di petrolio e le perdite, riducono la vita che vivono sul suolo contaminato e, attraverso la catena alimentare, hanno un impatto su tutta la vita vivente.





Quiz sull'Eutrofizzazione e sull'Inquinamento





Funded by
the European Union



1. In quale tipo di ambiente idrico è più comune e visibile il fenomeno dell'eutrofizzazione?

- A) Nei fiumi di montagna a scorrimento rapidissimo
- B) Negli oceani aperti e profondi
- C) Nei laghi, nelle paludi, nei laguni e nei mari chiusi o costieri
- D) Nelle falde acquifere sotterranee protette dalla roccia



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE



Funded by
the European Union



2. In che modo la proliferazione di alghe in superficie danneggia le piante che crescono sul fondo del lago?

- A) Taglia le loro radici muovendosi sul fondale
- B) Blocca la luce solare, impedendo la fotosintesi clorofilliana
- C) Assorbe tutto l'anidride carbonica dell'atmosfera terrestre
- D) Produce un calore eccessivo che brucia le foglie sott'acqua





3. Quale settore è responsabile del maggior consumo di acqua dolce prelevata a livello globale?

- A) Industria pesante
- B) Produzione di energia
- C) Agricoltura e irrigazione
- D) Consumo domestico





Funded by
the European Union



4. Cos'è l'"impronta idrica" di un prodotto?

- A) Il peso dell'acqua contenuta fisicamente nel prodotto finale.
- B) La quantità di acqua piovana che cade annualmente su una determinata area.
- C) Il volume totale di acqua dolce utilizzato per produrre il bene o il servizio.
- D) La quantità di acqua potabile sprecata negli acquedotti.



5. Quale tra queste è una strategia efficace per contrastare o prevenire l'eutrofizzazione?

- A) Aumentare l'uso di pesticidi chimici vicino ai fiumi
- B) Ridurre l'uso di fertilizzanti e migliorare il trattamento delle acque reflue
- C) Immettere acqua salata in tutti i laghi d'acqua dolce
- D) Coprire la superficie del lago con teli di plastica nera





Funded by
the European Union



6. Quale metallo pesante, altamente tossico e bioaccumulabile nella catena alimentare (soprattutto nei grandi pesci predatori), preoccupa maggiormente gli esperti di inquinamento idrico?

- A) Ferro
- B) Mercurio
- C) Alluminio
- D) Calcio





Funded by
the European Union



7. Perché l'acqua, pur essendo una risorsa rinnovabile, è oggi a forte rischio di scarsità?

- A) Perché evapora nello spazio e scompare dall'atmosfera
- B) A causa della distribuzione non uniforme, dell'inquinamento e della crescita dei consumi
- C) Perché la formula chimica dell'acqua sta cambiando spontaneamente
- D) Perché i ghiacciai stanno aumentando di volume trattenendola





8. Quale di queste azioni domestiche permette di risparmiare la maggiore quantità di acqua corrente?

- A) Chiudere il rubinetto mentre si lavano i denti o ci si insapona
- B) Usare piatti di plastica monouso per non lavare le stoviglie
- C) Innaffiare le piante nelle ore di punta del pomeriggio
- D) Lavare i pavimenti della casa ogni giorno





9. Che cosa indica l'impronta idrica (Water Footprint) di un individuo?

- A) La quantità di acqua minerale consumata in un anno
- B) Lo spazio fisico occupato dalle tubature di casa
- C) Il consumo totale di acqua dolce, sia diretto (rubinetto) che indiretto (beni consumati)
- D) Il livello di sudorazione media durante l'attività fisica



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE



Funded by
the European Union



10. Quale processo tecnologico viene utilizzato per convertire l'acqua marina in acqua potabile?

- A) La desalinizzazione o dissalazione
- B) La centrifugazione magnetica
- C) L'elettrolisi atmosferica
- D) La fitodepurazione biologica





Funded by
the European Union



11. Che cos'è l'eutrofizzazione di un corpo idrico?

- A) L'inaridimento completo di un lago dovuto all'evaporazione
- B) Il riscaldamento delle acque superficiali causato dal sole
- C) Un processo di arricchimento di nutrienti che causa una crescita eccessiva di alghe
- D) La sterilizzazione totale dell'acqua causata da scarichi acidi industriali





Funded by
the European Union



12. Quali sono i due elementi chimici principali responsabili dell'eutrofizzazione?

- A) Idrogeno e Ossigeno
- B) Fosforo e Azoto
- C) Calcio e Magnesio
- D) Piombo e Mercurio





13. Qual è una delle cause antropiche (umane) principali dell'eutrofizzazione?

- A) L'uso massiccio di fertilizzanti chimici in agricoltura
- B) La pesca sportiva regolamentata
- C) La costruzione di barriere coralline artificiali
- D) L'installazione di pannelli solari galleggianti



Funded by
the European Union



14. Che cosa si intende per "fioritura algale" (algal bloom)?

- A) La nascita di fiori subacquei profumati sui fondali marini
- B) Una rapida ed enorme proliferazione di microalghe e cianobatteri in superficie
- C) Il congelamento dello strato superiore di un lago in inverno
- D) La migrazione in massa delle alghe verso l'oceano aperto





15. Perché l'eutrofizzazione porta alla morte dei pesci e della fauna acquatica?

- A) Perché le alghe giganti catturano i pesci con i loro tentacoli
- B) A causa del calo drastico dell'ossigeno disciolto nell'acqua (anossia) durante la decomposizione delle alghe
- C) Perché l'acqua diventa improvvisamente troppo salata per la loro sopravvivenza
- D) Perché aumenta lo spazio a disposizione per il nuoto e i pesci si disorientano



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
UNIVERSITY OF CRETE



ASS. ISTITUTO
ECOAMBIENTALE



Funded by
the European Union



Riferimenti Bibliografici

1. Day, J.W., Rybczyk, J.M., Mann, M.E., and Stephens, J.R. (2024) Climate Change: Effects, Causes, Consequences, Physical Hydromorphological, Ecophysiological, and Biogeochemical Changes in Coastal Wetlands and Waters. In: Kennish, M.J. and El-liott, M., Eds., Anthropogenic Uses, Effects, and Solutions on Estuarine and Coastal Systems, Vol. 6, Treatise on Estuarine and Coastal Science, 2nd Edition, Elsevier, 626-641.
2. Evrim agaci, 2026. <https://evrimagaci.org/chicago-kimseye-zarar-vermeden-bir-sehri-verden-metrelerce-yukseltmek-2504>
3. FAO, 2023. "FAO sets the record straight—86% of livestock feed is inedible by humans". Archived from the original on February 10, 2023. Retrieved February 10, 2023.
4. Ferreira, J. G., Andersen, J. H., Borja, A., Bricker, S. B., Camp, J., Cardoso, A. C., ... & Teixeira, H. (2011/2016). Challenges of aquatic ecosystems: Implementation of the European Water Framework Directive and Marine Strategy Framework Directive. *Frontiers in Marine Science*, 3, 1-17. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00024>.
5. Glibert, P. M., Heil, C. A., Burkholder, J. M., & Anderson, D. M., 2017.. The importance of nutrient form, ratio, and timing in the proliferation of harmful algal blooms. In *Harmful Algal Blooms: A Compendium Desk Reference* (pp. 53-112). Wiley-Blackwell.
6. Holdgate, M. W. (1979). *A Perspective of Environmental Pollution*. Cambridge University Press, Cambridge.
7. Kennish, M.J. (2024) Anthropogenic Drivers of Estuarine Change. In: Kennish, M.J., Paerl, H.W., and Crosswell, J.R., Eds., *Climate Change and Estuaries*, CRC Press, 75-98. <https://doi.org/10.1201/9781003126096>.
8. Le Moal, Morgane, Gascuel-Oudou, Chantal, Ménesguen, Alain, Souchon, Yves, Étrillard, Levain, Alix, ... Pinay, Gilles (2019). Eutrophication: A new wine in an old bottle? Elsevier, *Science of the Total Environment* 651:1–11
9. MSFD, 2008. Marine Strategy Framework Directive (MSFD - 2008/56/EC): Özellikle Descriptor 5 (Eutrophication) ve Descriptor 11 (Underwater Noise) bölümleri, metindeki deniz kirliliği ve gürültü kirliliği sınıflandırmalarının temelidir.
10. Malone ve Newton, 2020. Malone, K., & Newton, A. (2020). The role of non-point source pollution in the degradation of coastal aquatic ecosystems. *Journal of Coastal Research*, 36(5), 1084-1097. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-19-00123.1>
11. Nitrates Directive (91/676/EEC): Tarımsal kaynaklı kirliliğin (gübre kullanımı) kontrolü ile ilgili temel yasal çerçeve.
12. USEPA, 2004. Nonpoint Source Program and Grants. Guidelines for States and Territories. EPA 841-R-24-009. https://www.epa.gov/system/files/documents/2024-06/2024_section_319_guidelines_final_1.pdf.
13. Wang L.T., 2024, Advances in monitoring and managing aquatic ecosystem health: integrating technology and policy, *International Journal of Aquaculture*, 14(2):101-111.
14. Wang Y., Liu D., Xiao W., Zhou P., Tian C., Zhang C., Du J., Guo H., and Wang B., 2021, Coastal eutrophication in China: trend sources and ecological effects, *Harmful Algae*, 107: 102058. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102058>
15. Wilkinson G.M., 2017, Eutrophication of freshwater and coastal ecosystems, (2017): 145-152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10160-5>.
16. Wurtsbaugh W.A., Paerl H., and Dodds W., 2019, Nutrients eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5): e1373. <https://doi.org/10.1002/wat2.1373>

