

## **MECCANISMI GENERALI DEI PROCESSI DI BIODETERIORAMENTO**

**BIODETERIORAMENTO** – cambiamento indesiderato causato dall'attività vitale degli organismi  
**BIODETERIOGENI** – microrganismi o organismi che causano danni al materiale.

**AUTOTROFI** – capaci di produrre da soli le sostanze organiche necessarie al loro sviluppo.  
possono quindi facilmente colonizzare substrati inorganici

**ETEROTROFI** – organismi che devono assumere sostanze organiche dal substrato  
Possono crescere su tali substrati solo se vi è la presenza di sostanze organiche.

**BIORICETTIVITÀ** - l'attitudine di un materiale ad essere colonizzato

Tra le cause di degrado fisiche chimiche e biologiche non esiste una netta separazione poiché qualsiasi processo fisico o chimico può indurre o influenzare l'attività biologica

Non sempre è possibile distinguere danni di natura estetica (**DANNO ESTETICO**) con i danni strutturali che comportano conseguenze irreversibili.  
In alcuni casi la presenza di organismi sul substrato non sembra causare alcun cambiamento rilevante nella sua composizione chimica o nelle sue caratteristiche fisiche, ma con il passare del tempo dall'instaurarsi della crescita biologica può manifestarsi il degrado irreversibile.

Alcuni organismi possono comportare anche una **BIOPROTEZIONE**, come i licheni sui materiali posti all'aperto, questi riducono l'effetto degli agenti atmosferici di degrado.

**ORGANISMI** – aderiscono e penetrano nel substrato mediante strutture specializzate (rinzine rinzoidi o radici)

**MICRORGANISMI** – aderiscono al substrato mediante la formazione di **biofilm** → reticolo entro il quale i microrganismi formano microcolonie separate da vuoti interstiziali. Questi permettono la circolazione di fluidi tra gli spazi vuoti e rappresenta un arrangiamento per la circolazione di nutrienti anche all'interno degli strati più profondi del biofilm.

Il biofilm può raccogliere particelle e inquinanti atmosferici corrosivi, accelerando dunque i processi di corrosione chimica.

## **PROCESSI DI NATURA FISICA**

Sono processi che causano una rottura del substrato dovuta all'azione meccanica degli organismi. Il substrato non subisce un'alterazione chimica.

## **PROCESSI DI NATURA CHIMICA**

Alterazione chimica causata dai processi metabolici degli organismi presenti.

Processi di biodeterioramento chimico:

**ACIDOSI** – danno dovuto dal rilascio di acidi da parte dei biodeteriogeni, questo comporta fenomeni corrosivi.

**REAZIONI ALCALINE** – prodotte da organismi

**COMPLESSOLISI** – chelazione di elementi

**PRODUZIONE DI PIGMENTI**

## **FENOMENOLOGIA DEL BIODETERIORAMENTO**

La morfologia attraverso cui si manifesta il biodeterioramento varia secondo le specie presenti, la natura del substrato, il clima, del periodo stagionale e anche in funzione alle condizioni fisiologiche degli organismi presenti, strettamente legate ai fattori interni e tipici della specie sia esterni.

In condizioni sfavorevoli la morfologia degli organismi può cambiare nella forma e nel colore.

Per questa ragione la morfologia viene definita con termini di **TIPICO** o **ATIPICO**.

**TIPICA** – alterazioni il cui aspetto può essere ricondotto facilmente ad una causa biotica.

**ATIPICA** – alterazioni il cui aspetto risulta di difficile interpretazione. (in alcuni casi le attività biotiche possono essere confuse con danni di natura chimiche o fisiche).

## **ECOLOGIA DEL BIODETERIORAMENTO**

I fenomeni di biodeterioramento dei materiali sono strettamente legati sia alla natura chimica e fisica del substrato sia alle caratteristiche dell'ambiente circostante.

Per prevenire o controllare l'attacco biologico è sufficiente individuare il fattore limitante più facilmente modificabile portandone i valori al di sotto del limite necessario.

**FATTORE LIMITANTE** – fattore ecologico è un fattore limitante nella misura in cui i suoi valori prossimi ai minimi o ai massimi di tolleranze condizionano o inibiscono la presenza di una specie biologica.

**LIMITE SOGLIA** – valore dove la crescita di un organismo è inibita.

Sono definiti **BIOINDICATORI** gli organismi con un range limitante ristretto, utile per determinare la situazione di quel determinato ambiente, ad esempio i licheni.

**NICCHIA ECOLOGICA** – spazio ecologico ideale

**HABITAT** – luogo dove una specie vive, tipologia di collocazione ambientale.

**COROLOGIA** – distribuzione geografica.

## **ACQUA**

L'acqua è indispensabile per diverse attività metaboliche di tutti gli organismi viventi e per il funzionamento delle cellule.

All'interno dei materiali l'acqua può essere presente sotto tre forme:

**ACQUA LEGATA CHIMICAMENTE** – mediante forti legami covalenti e facente parte della struttura molecolare di polimeri organici.

**ACQUA LIBERA MULTISTRATO** – deboli legami con la superficie

**ACQUA CONDENSATA LIBERA** – fange da solvente. Questa esercita la massima influenza sugli organismi biologici.

La disponibilità d'acqua può essere il primo fattore che condiziona la velocità di colonizzazione degli organismi sulle superfici. Proprio per questo bisogno di acqua gli interventi per la prevenzione del biodeterioramento puntano sulla riduzione del fattore idrico.

In assenza di acqua difficilmente si ha lo sviluppo della microflora, anche se diversi organismi sono in grado di resistere a prolungati periodi di siccità.

## **LUCE**

La luce è fondamentale per i processi di fotosintesi che permettono di trasformare l'energia luminosa in energia chimica. L'insieme di reazioni che avvengono in tale processo richiede la presenza di specifici **PIGMENTI FOTOSINTETICI** - molecole in grado di assorbire la luce utile a tale processo.

I parametri più importanti relativi alla luce sono:

**QUALITÀ** – colore (nello spettro)

**QUANTITÀ** – intensità della luce: densità del flusso di fotoni incidenti nell'unità di tempo.

**DURATA** – nel tempo

## **TEMPERATURA**

La temperatura è un fattore ambientale che determina fortemente lo sviluppo biologico.

I suoi effetti infatti determinano la variazione delle proprietà dell'acqua, al di sotto dello 0° questa subisce una cristallizzazione in ghiaccio, mentre con una temperatura alta questa evapora.

## **CARATTERISTICA DEL SUBSTRATO**

Il substrato assume una grande rilevanza nel biodeterioramento in relazione alle sue caratteristiche fisiche e chimiche.

FISICHE:

**POROSITÀ** – spazi vuoti all'interno del materiale, questi assumono grande importanza per quanto riguarda il trattenimento all'interno di acqua. Un'elevata porosità di conseguenza influisce sul biodegrado in quanto l'attività organica avviene in condizioni idriche favorevoli.

**RUGOSITÀ** – influenza il biodeterioramento per quanto riguarda l'assorbimento idrico sulle superfici. Una superficie rugosa in oltre favorisce l'insediamento fisico dei microrganismi.

Materiali organici presentano di norma caratteristiche di porosità e di rugosità per questa ragione sono soggetti maggiormente ad attacchi da parte della microflora rispetto a quelli inorganici.

**IGROSCOPICITÀ** – capacità di assorbire o cedere acqua quando l'umidità relativa ambientale aumenta o diminuisce.

CHIMICO:

Le caratteristiche chimiche del substrato possono essere nocive in quanto i componenti chimici possono fungere da nutrimento per la microflora.

## **CARATTERISTICHE CHIMICHE DELL'ATMOSFERA**

L'ossigeno presente nell'atmosfera esercita un ruolo rilevante sulla crescita biologica.

## **FATTORI CLIMATICI**

**CLIMA** – fattori meteorologici quali temperatura e precipitazioni. I fattori climatici variano nel corso del tempo dando luogo alle stagioni.

**Ventosità** – i principali effetti della ventilazione sono l'abbassamento delle temperature, la disidratazione, la veicolazione di inquinanti. Tutto questo influenza la microflora.

**COMUNITÀ BIOTICA** – insieme di specie che convivono in un ambiente.

## **SUCCESSIONI ECOLOGICHE**

Nel caso dei materiali inorganici non direttamente utilizzati a scopo nutrizionale esiste una più o meno lenta dinamica delle comunità.

Nei processi di biodeterioramento dei materiali organici si instaura una più rapida successione di popolazioni microbiche caratterizzata da organismi che operano dal punto di vista metabolico.

Nelle comunità biotiche si osservano di norma fluttuazioni stagionali più o meno consistenti, da ricollegare sia agli andamenti climatici (**CICLICITÀ STAGIONALE**) sia alla disponibilità differenziale di nutrienti:

normalmente in un determinato sito si assiste nel tempo a una progressiva successione e sostituzione di biocenosi, in modo che in ogni fase di tale processo evolutivo si possano affermare le comunità meglio adatte.

Quando un insieme di organismi cresce su un substrato ne modifica le caratteristiche intrinseche (aumentandone per esempio la rugosità, porosità. Aggiunta di sostanze organiche, modificazioni del pH ecc..) questo fa sì che altre specie che prima non riuscivano a colonizzare la superficie trovino invece una possibilità d'insediamento.

Dopo che a comunità iniziali (**comunità pioniere**) si sono succedute comunità più mature e evolute si raggiunge un equilibrio dinamico finale, caratterizzato da biocenosi che meglio rispondono al clima e alle condizioni del substrato (**comunità climax**) organismi viventi sono stati suddivisi secondo due domini tassonomici: PROCARIOTI e EUCARIOTI

## **PROCARIOTI**

Include due regni accumulati dall'essere privi di un nucleo cellulare:

### **ARCHEOBATTERI:**

predilezioni per ecosistemi particolari o condizioni estreme (temperatura e acidità estreme)

### **EUBATTERI:**

le principali differenze tra la struttura cellulare degli archeobatteri e quella degli eubatteri riguarda la composizione della parete cellulare.

A causa delle differenze della struttura della parete gli eubatteri si dividono in:

GRAM POSITIVI → CIANOBATTERI (alghe azzurre)

GRAM NEGATIVI → ATTINOMICETI

La cellula procariotica non possiede meccanismi di riproduzione sessuata, ma si duplica a sessualmente per scissione binaria.

Il nutrimento richiede macronutrienti per esigenze metaboliche e minerali sufficienti in piccola parte (micronutrienti). I nutrienti possono essere reperibili anche in ambienti meno ospitali, sia direttamente dal materiale sul quale crescono sia esternamente.

Diversi sono i batteri dannosi per i beni culturali:

**BATTERI SOLFOOSSIDANTI:** sono in grado di produrre acido solforico

**BATTERI NITRIFICANTI:** sono in grado di produrre acido nitrico

**BATTERI DENITRIFICANTI:** sono anaerobi in grado di metabolizzare il substrato attraverso la respirazione aerobica

} **AUTOTROFI**

} **ETEROTROFI**

i fattori ambientali che influenzano la crescita batterica sono soprattutto la disponibilità di acqua, l'O<sub>2</sub>, la temperatura, la luce (per quanto riguarda i batteri fotoautotrofi) il pH, un'elevata concentrazione di sali può inibire la crescita

## **EUCARIOTI**

Comprende animali, piante e microrganismi con cellule caratterizzate da nuclei inclusi in una membrana.

### **FUNGHI:** (regno funghi)

Sono organismi eucariotici eterotrofi, caratterizzati dalla presenza di una parete cellulare rigida.

I funghi sono suddivisi per 5 phyla, 4 di queste presentano un ciclo sessuale (funghi perfetti) l'ultima presenta una riproduzione a sessualmente (funghi imperfetti)

I funghi sono pericolosi per il degrado dei manufatti artistici in quanto possono danneggiare attraverso un'azione diretta i materiali organici, e attraverso un'azione indiretta quelli inorganici.

Inoltre i funghi possiedono capacità adattive a diverse condizioni ambientali, per questa ragione diverse sono le condizioni in cui si possono trovare.

Molti funghi presentano un'elevata diversità metabolica ed alcuni sono capaci di crescere anche con scarse quantità di nutrienti.

Quasi tutti i funghi sono AEROBI STRETTI in quanto necessitano di ossigeno almeno per una fase della loro vita, altri sono AEROBI FACOLTATIVI in quanto possono fare a meno dell'ossigeno fermentando gli zuccheri. Sono definiti MICROAEROBI i funghi che vivono a basse pressioni di ossigeno.

La luce non ha grande effetto sulla crescita fungina ma in alcuni casi può favorire la formazione e la germinazione delle spore.

I funghi hanno diverse strutture e organizzazioni vegetative e vanno dagli UNICELLULARI ai FILAMENTOSI con strutture complesse. La maggior parte di questi sono costituite da sottili filamenti ramificati "IFE" derivanti dalla germinazione della "SPORA" fungina. Il loro insieme forma il "MICELIO" che dà luogo alla colonia che rappresenta il "TALLO".

Il micelio vegetativo può produrre anche strutture che garantiscono la sopravvivenza e la dispersione della specie, come le **rizomorfe** le cui funzioni principali sono quelle di costituire organi di aggressiva colonizzazione che penetrano nel substrato a scopi nutrizionali e di riserva

I funghi con un micelio pigmentato nella parete cellulare sono presenti le melanine che conferiscono resistenza a numerosi agenti chimici e fisici

Lo sviluppo del micelio su un materiale costituente un'opera d'arte può determinare danni di tipo fisico meccanico causati dalla penetrazione delle ife.

I funghi si riproducono e sono dispersi per mezzo delle spore che sono prodotte mediante **RIPRODUZIONE ASESSUALE**: tipo di riproduzione più diffusa ricondotta all'attività delle ife specializzate che producono spore per mitosi.

o **RIPRODUZIONE SESSUALE**: tale riproduzione ha luogo dalla fusione di due cellule di sesso diverso che danno luogo ad uno zigote diploide.

Dopo la formazione e la maturazione le spore entrano in un periodo di quiescenza a cui segue dopo una fase di attivazione la germinazione. Le condizioni ambientali necessarie per la germinazione variano da specie a specie, ma fondamentale è la disponibilità d'acqua.

I **FUNGHI NERI** a crescita meristemica sono un gruppo di microrganismi capaci di produrre un pigmento melaninico generalmente nero. Sia la riproduzione meristemica sia la produzione di melanina conferisce alle cellule resistenza in condizioni ambientali estreme.

### **ALGHE:** (regno protisti)

Hanno cellule di tipo eucariotico.

Le alghe si manifestano con una diversa gamma di alterazioni cromatiche, patine e strati gelatinosi di colore variabile.

Le alghe subaeree e litofile si manifestano con una gamma di alterazioni cromatiche.

## **CIANOBATTERI:**

sono organismi **procarioti** in passato considerati organismi algali. Sono capaci di svolgere la fotosintesi simile a quella delle piante superiori. La denominazione **ALGHE AZZURRE** deriva dalla tipica colorazione delle loro cellule dovuta alla prevalenza di un pigmento azzurro su quello verde della clorofilla

L'insediamento di cianobatteri ed alghe è facilitato dall'irregolarità del substrato lapideo; in relazione al rapporto con esso tali organismi possono essere definiti:

**EPILITICI** - vivono sulla superficie della pietra.

Le forme epilittiche sono le più diffuse e possono semplicemente ricoprire il substrato lasciandolo intatto e priva di depositi salini, oppure possono corrodere il substrato causando un infossamento in esso.

**CASMOLITICI** – vivono in fessure o cavità della pietra

La loro azione causa distacchi e sollevamenti di scaglie della superficie lapidea

**ENDOLITICI** – vivono all'interno della pietra.

La loro azione è deturpante, legata al potere performante di alcune specie

Le alghe comprendono specie unicellulari in cui una stessa cellula ricopre tutte le funzioni vitali, e pluricellulare in cui gli organismi hanno un corpo vegetativo detto tallo con una differenziazione morfologica simile a quelle delle piante superiori. Il tallo può essere filamentoso spesso attaccato al substrato

Alghe **diatomee** sono unicellulari, frequenti sui materiali lapidei bagnati, sia liberi che fissati al substrato mediante un peduncolo.

Alghe **rosse** presentano una colorazione rosa – rossa.

I **cianobatteri** sono procarioti che presentano la più alta diversificazione morfologica. Generi con morfologia unicellulare, filamentosa, ramificata o non.

Hanno anche una grande variabilità dimensionale.

Oltre alle cellule vegetative in alcuni possono esserci cellule specializzate:

- **CELLULE ETEROCISTI:** disposte ad intervalli lungo i filamenti, parete cellulare spessa sono la sede della fissazione dell'azoto elementare.
- **CELLULE ACINETI:** o spore, sono prodotti in condizioni di stress. Permettono la sopravvivenza dell'organismo durante periodo avversi, contengono sostanze di riserva.

La principale caratteristica della cellula cianobatterica è costituita da un complesso sistema di membrane fotosintetiche, queste sono contornate da una sottile membrana citoplasmatica e una parete cellulare stratificata. Questa:

permette l'adesione al substrato  
funziona come riserva idrica  
tiene unite le cellule microbiche

il metabolismo respiratorio porta alla produzione di CO<sub>2</sub> che determina la formazione di acido carbonico che contribuisce al deterioramento del substrato.

La riproduzione avviene in modo **asessuale** quando non vi è mescolamento di materiale genetico per fusione dei gameti, o **sessuale** quando questa avviene.

Nei cianobatteri la **riproduzione è vegetativa**

## **LICHENI**

Sono in realtà un gruppo di funghi superiori che si sono specializzati un punto di vista nutrizionale vivendo in simbiosi con alghe e-o cianobatteri che sono presenti all'interno del solo corpo vegetativo, il tallo.

I licheni producono un tallo scarsamente differenziato, con le ife del micobionte che si accrescono sulle cellule del fotobionte penetrando eventualmente nel substrato dando origine a talli crostosi. Le ife penetrano nel substrato dunque non possono essere rimossi senza rovinare il tallo.

Un'altra tipologia di licheni dà origine a talli fogliosi con una forma bidimensionale e uno sviluppo in genere parallelo al substrato.

L'adesione avviene mediante rinzine. Questi possono essere rimossi senza eccessive difficoltà.

Il tallo fruticoso è caratterizzato da ramificazioni che possono conferirgli l'aspetto di un cespuglio.

I licheni presentano un tallo stratificato in cui è possibile vedere:

- Cortex: strato del fotobionte
- Medulla

Nella simbiosi il micobionte tende ad assicurare al fotobionte un'adeguata illuminazione.

Le cellule del fotobionte sono connesse con il bionte tramite strutture specializzate prodotte dalle ife.

La riproduzione avviene tramite spore o per via vegetativa.

## **BRIOFITE:**

Le briofite sono organismi eucariotici fotoautotrofi.

Il tallo della briofite manca di veri e propri tessuti adibiti al trasporto dell'acqua, per questa ragione sono organismi fortemente legati all'acqua e si diffondono in luoghi umidi.

I muschi penetrano nel substrato tramite strutture rizoidali.

Essi presentano come fase dominante quella aploide con prevalenza di gameti aderenti al substrato. Sul gametofito si forma lo sporofito.

I muschi presentano una riproduzione sessuata e anche asessuale.

La riproduzione vegetativa avviene per formazione e distacco di gemme, gruppi di cellule che producono il gametofito.

## **PIANTE VASCOLARI**

Eucarioti fotosintetici, costituiti da cellule organizzate in tessuti con determinate funzioni a loro volta strutturati in organi.

Si differenziano per livello di organizzazione e adattamento a diversi ambienti:

**PTERIDOFITE:** sono piante vascolari che si riproducono tramite spore e sono legate a luoghi umidi. Presentano fusti sotterranei, i rizomi che sono in grado di penetrare profondamente nel terreno.

**GIMNOSPERME:** portano gli ovuli (che diventeranno semi) nudi su strutture specializzate.

Sono piante legnose per la maggior parte a portamento arboreo, le foglie sono prevalentemente aghiformi oppure squamiformi.

Quando gli ovuli diventano semi le strutture specializzate dette coni si aprono per permettere la loro dispersione.

**ANGIOSPERME:** hanno gli ovuli (che diventeranno semi contenuti in un ovario posto all'interno di un organo complesso con funzione riproduttiva, il fiore).

I fiori presentano diverse dimensioni in funzione ai meccanismi di dispersione del polline: specie che utilizzano gli insetti come vettori presentano fiori appariscenti e profumati, mentre i fiori che utilizzano il vento sono in genere piccoli inodori e poco appariscenti.

**GIMNOSPERME e ANGIOSPERME** si riproducono per mezzo di semi e vengono chiamate **SPERMATOFITE**

Nelle piante vascolari le radici presentano una struttura complessa che durante l'accrescimento esercita elevate pressioni sul substrato determinando un danno di tipo fisico – meccanico.

In una cormofita si distinguono:

**RADICE:** fissa la pianta al terreno e può accumulare sostanze di riserva, questa può essere a **fittone o fascicolato**.

**FUSTO:** porta gli organi fotosintetizzanti e assicura il collegamento tra questi e le radici.

**FOGLIA:** presentano una morfologia diversificata, normalmente possiedono una parte emersa della **lamina** e un **picciolo** che sostiene la lamina. semi e fiori

## **RIPRODUZIONE:**

**PTERIDOFITE:** la struttura riproduttiva dispersa nell'ambiente è la spora che viene prodotta negli sporangi. Essa germina producendo gameti femminili e maschili, dall'unione dei gameti si origina un embrione che nasce e cresce in pianta adulta.

**SPERMATOFITE** hanno due strutture riproduttive che vengono disperse nell'ambiente:

il seme e **IL POLLINE:** costituito da granuli dentro cui si formano i gameti maschili. I gameti femminili si trovano all'interno dell'ovulo.

Nelle **ANGIOSPERME** i fenomeni riproduttivi avvengono nel fiore: il calice è formato da sepal che hanno lo scopo di proteggere le strutture interne. La corolla è formata da petali e servono ad attirare gli insetti. L'androceo è formato dagli stami organi riproduttivi maschili. Il gineceo è formato da pistilli organi riproduttivi femminili, dentro cui vi è l'ovario.