

GLI INDICATORI BIOLOGICI

Che cos'è il monitoraggio ambientale?

Monitoraggio chimico-fisico

Campionamento e analisi di diverse matrici ambientali

- **Acqua**
- **Aria**
- **Suolo**
- **Sedimento**
- **Biomassa**

Scopo:

- **caratterizzazione (composizione, proprietà chimico-fisiche) dei diversi sistemi**
- **ricerca e quantificazione di potenziali contaminanti in sistemi naturali o in effluenti**
- **valutazione dello stato di qualità ambientale per quanto attiene ai parametri chimico-fisici.**

Che cos'è il monitoraggio ambientale? (2)

Monitoraggio biologico

Studio di sistemi biologici a diverso livello di organizzazione (individuo, popolazione, comunità, ecosistema)

Strumenti:

- bioindicatori
- indici biotici
- biomarkers
- dinamica di popolazione
- biodiversità

Scopo:

- caratterizzazione del sistema dal punto di vista biologico ed ecologico (proprietà funzionali e strutturali)
- verifica della presenza di eventuali alterazioni determinate da interventi antropici:
 - modificazioni fisiche
 - alterazioni dell'habitat
 - presenza di contaminanti.

A cosa serve il monitoraggio ambientale?

- **Quantificazione dell'esposizione ambientale a sostanze potenzialmente nocive**
- **Quantificazione dei danni ambientali**
- **Controllo della qualità degli ecosistemi naturali**
- **Misura di parametri strutturali e funzionali degli ecosistemi**
- **Studi sul destino ambientale delle sostanze chimiche**
- **Controllo degli effluenti**

CONTROLLO DELLA QUALITA' AMBIENTALE

- Il controllo dell'ambiente viene effettuato attraverso le analisi chimico-fisiche e quelle biologiche.
- L'analisi biologica, pur essendo indipendente, non sostituisce quella chimico-fisica ma la può integrare
- Unendo i due tipi di analisi in un approccio multidisciplinare, si possono valutare gli aspetti di sinergismo e di antagonismo determinati dalle molecole inquinanti nell'ambiente. Infatti talvolta la presenza di più inquinanti abbassa la soglia di pericolosità dei singoli, in altri casi addirittura le sostanze si neutralizzano reciprocamente. Purtroppo ci sono casi in cui gli effetti inquinanti sono potenziati dalla presenza di più sostanze.

CONCETTO DI INDICATORE BIOLOGICO

INDICATORE BIOLOGICO è qualsiasi organismo in grado di fornire informazioni sulla qualità dell'ambiente e sui suoi cambiamenti.

Ecosistemi equilibrati presentano moltissime specie con pochi individui. Un ecosistema perturbato presenta invece una riduzione o la scomparsa delle specie sensibili, con proliferazione di quelle più resistenti agli inquinanti.

Alcuni esempi:

- *trifoglio/ festuche nei pascoli*
- *carnivori predatori nelle catene alimentari terrestri e acquatiche*
- *api (soprattutto per inquinamento chimico da metalli pesanti e da antiparassitari)*
- *macroinvertebrati nelle acque dolci*

BIOINDICATORI

Come si manifestano gli effetti del cambiamento ambientale sugli organismi?

Attraverso:

- reazioni identificabili di tipo ecologico, comportamentale, biochimico, fisiologico, morfologico (*bioindicatori propriamente detti*)
- capacità di accumulare dai diversi comparti ambientali (aria, acqua, suolo) quantità misurabili di contaminanti (*bioaccumulatori e biomonitors*)

Caratteristiche necessarie per un buon bioindicatore

- **optimum ecologico ed ampia distribuzione nell'area di studio**
- **facile identificazione sistematica**
- **buone conoscenze su anatomia, fisiologia ed ecologia della specie**
- **uniformità genetica e lungo ciclo vitale (ma in casi particolari si usano anche microrganismi)**
- **facile reperibilità in tutte le stagioni (ma in casi particolari si usano anche organismi a ciclo stagionale)**
- **scarsa mobilità (stanzialità), ad eccezione dei bioindicatori su scala globale**

E' inoltre necessario conoscere

- **il ruolo ecologico che lo predispone all'impatto con i contaminanti**
- **le risposte che è in grado di fornire**

Indici Biologici o Biotici

- Si tratta di metodi che consentono l'espressione quantitativa, generalmente esprimibile attraverso un numero, delle caratteristiche di qualità ambientale. Per questo motivo sono spesso usati per valutazioni comparative o di classificazione.
- Si possono basare su diverse caratteristiche di opportuni organismi indicatori (presenza/assenza, reazioni fisiologiche, ecc.), sia a livello di singole popolazioni che di comunità complesse.
- Possono essere applicati alla contaminazione delle acque dell'aria o del suolo e si possono basare su organismi di appartenenti a gruppi tassonomici molto diversi (microrganismi, invertebrati, licheni, ecc.).

CONTROLLO DELLA QUALITA' DELLE ACQUE CORRENTI

Per valutare la qualità delle acque correnti sono usati due metodi biologici pratici:

- Sistema delle saprobie
- Indici biotici (IBE)

SISTEMA DELLE SAPROBIE:

Si basa sull'esame di organismi microscopici presenti nelle acque. Si arriva a determinare quattro livelli di qualità, definiti a seconda del grado di adattabilità degli organismi alle diverse concentrazioni di sostanze organiche.

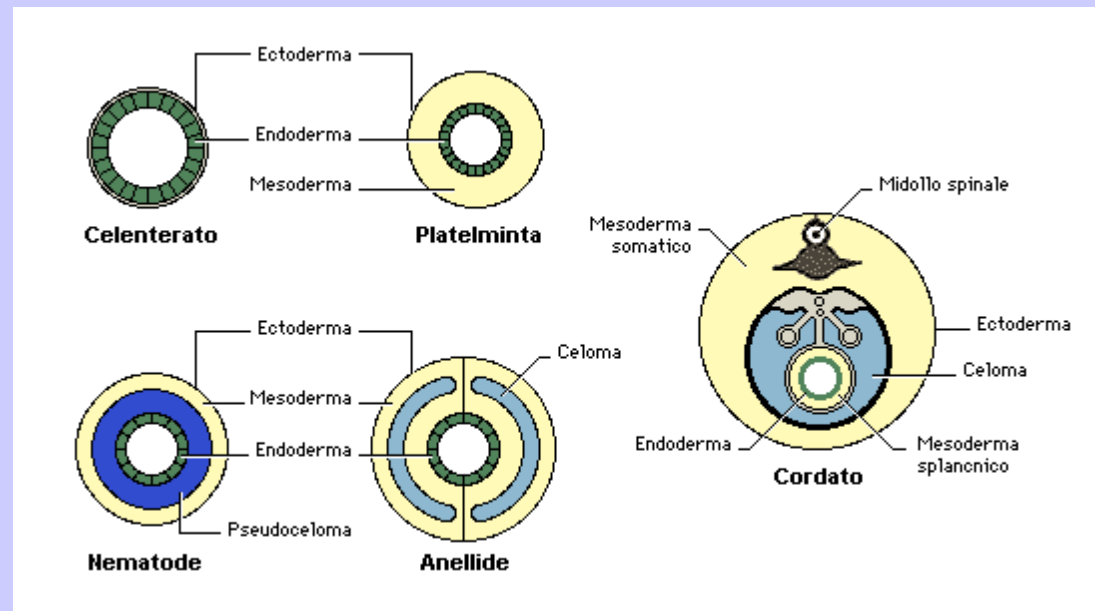
Presenta limiti dovuti alla difficoltà di arrivare a livelli di classificazione approfonditi.

SISTEMA DELLE SAPROBIE o INDICE SAPROBIO

Fa parte, insieme alla percentuale di *Secernentia* e alla percentuale di somiglianza, delle analisi basate sulla microfauna. Essa infatti riflette in modo più immediato e puntuale le alterazioni dell'ambiente, dati i cicli di sviluppo molto rapidi.

Nel sistema delle saprobie si usano i Nematodi; è necessario spingersi fino all'identificazione della specie, in alcuni casi ci si può fermare al genere.





Struttura corporea degli animali

Le strutture fondamentali del corpo di alcuni gruppi di animali sono mostrate qui in sezione trasversale. I celenterati (come le meduse e gli anemoni di mare) possiedono due soli strati di tessuto, endoderma ed ectoderma, che circondano una cavità digerente. Tra l'endoderma e l'ectoderma nei plateminti (quali la planaria) si sviluppa un terzo strato, il mesoderma; questi animali sono detti acelomati perché sono privi di una cavità corporea, come lo pseudoceloma o il celoma. Lo pseudoceloma compare nei nematodi, nei quali vi è una cavità corporea ripiena di liquido e non delimitata da pareti proprie. Negli animali più complessi, come gli anellidi e i cordati, si forma infine il celoma, cavità delimitata da membrane proprie (celoteli), che assume varie funzioni, tra cui la mediazione degli scambi di sostanze tra parti diverse dell'organismo, il sostegno idrostatico del corpo e la protezione degli organi interni.

Per le diverse specie viene indicato il grado saprobio (s , da “sapro” = putrido), variabile da 1 a 4; ogni grado saprobio corrisponde ad uno stadio saprobico che varia da oligosaprobio (nessun inquinamento) a polisaprobio (inquinamento molto elevato).

Per il calcolo dell'indice vengono valutate anche le frequenze di ritrovamento delle specie (h), per tener conto anche dei dati quantitativi di rinvenimento delle diverse specie.

L'indice saprobio (S) viene infine calcolato attraverso la seguente:

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h}$$

Il limite di questo indice consiste nel fatto che bisogna conoscere il grado di saprobietà di almeno qualcuno dei taxa presente e non si tiene conto dei taxa il cui indice non è noto. Inoltre bisogna arrivare all'identificazione specifica dei taxa che non sempre risulta di facile realizzazione.

IBE: Indice Biotico Esteso

Questo tipo di indice, proposto da più autori dagli anni '60 in poi, si basa sulla considerazione che, in corrispondenza di acque ricche di sostanze organiche dovute ad inquinamento, si determini un incremento dell'attività fungina e batterica con consumo di ossigeno. D'altra parte le sostanze organiche possono anche fornire cibo alla macrofauna acquatica. Si opera quindi una selezione nei confronti degli organismi in grado di sopravvivere in basse concentrazioni di ossigeno e che richiedono abbondanti quantità di alimento disponibile.

I vari taxa considerati (possono essere sia generi, sia famiglie), vengono ordinati in base alla tolleranza per l'ossigeno dall'alto verso il basso.

IBE: Indice Biotico Esteso

La formulazione dell'indice tiene conto anche della compensazione degli ambienti lungo il profilo longitudinale del corso d'acqua: infatti, anche in mancanza di inquinamento, lungo il corso d'acqua si trovano differenti tipologie di comunità dovute a fattori naturali come velocità di corrente, temperatura, morfologia del fondo. La formulazione dell'indice tiene conto di questo inserendo il numero di unità sistematiche totali.

IBE: Indice Biotico Esteso

Si basa sull'esame dei macroinvertebrati che sono ritenuti più adatti perché:

- Numerose specie reagiscono all'inquinamento prontamente
- Vivono preferibilmente su substrati, pertanto non sono soggetti a migrazioni continue
- Hanno cicli vitali inferiori ad un anno
- Sono facilmente campionabili e il riconoscimento risulta agevole
- I pesci dipendono da essi per la loro alimentazione
- Il loro uso è esteso in letteratura

L'indice biotico suddivide il corso d'acqua in cinque classi di qualità lungo il profilo longitudinale.

CARATTERISTICHE DEI MACROINVERTEBRATI E DETERMINAZIONE DELL'IBE

I macroinvertebrati sono visibili a occhio nudo (taglia non inferiore al mm). Si considerano specie di MI appartenenti agli insetti, ai molluschi, ai vermi e ai crostacei.

Informazioni sui diversi MI: pag. 63

Per definire l'IBE si usa una tabella a doppia entrata che ha:

- in ordinata gruppi di MI che riflettono, dall'alto verso il basso, una sempre minor resistenza all'inquinamento;
- in ascissa gli intervalli numerici che si riferiscono al numero totale di US (unità Sistematiche) rinvenute nella stazione. L'US corrisponde al taxon definito per i vari gruppi (può essere il genere o la famiglia).

Tab. 4.3. Tabella per il calcolo dell'Extended Biotic Index (E.B.I.) (elaborata da Ghetti, 1986).

Gruppi faunistici che determinano l'entrata orizzontale in tabella		Numero totale delle Unità Sistematiche della comunità								
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-...
Plecotteri	Più di una U.S.	—	—	8	9	10	11	12	13*	14*
	Una sola U.S.	—	—	7	8	9	10	11	12	13*
Efemerotteri (tranne fam. Baetidae, Caenidae)	Più di una U.S.	—	—	7	8	9	10	11	12	—
	Una sola U.S.	—	—	6	7	8	9	10	11	—
Tricotteri (ed inoltre fam. Baetidae, Caenidae)	Più di una U.S.	—	5	6	7	8	9	10	11	—
	Una sola U.S.	—	4	5	6	7	8	9	10	—
Gammaridi	Tutte le U.S. sopra assenti	—	4	5	6	7	8	9	10	—
Asellidi	Tutte le U.S. sopra assenti	—	3	4	5	6	7	8	9	—
Oligocheti o Chironomidi	Tutte le U.S. sopra assenti	1	2	3	4	5	—	—	—	—
Tutti i taxa precedenti assenti	Possono esserci organismi a respirazione aerea	0	1	—	—	—	—	—	—	—

Tab. 4.5. Tabella di conversione dei valori di E.B.I. in Classi di Qualità, con relativo giudizio e colore per la rappresentazione in cartografia. I valori intermedi fra due classi vanno rappresentati mediante tratti alternati con colori o retinature corrispondenti alle due classi (elaborata da Ghetti, 1986).

Classi di qualità	Valore di E.B.I.	Giudizio	Colore di riferimento	Retinatura di riferimento
Classe I	10-11-12-....	Ambiente non inquinato o non alterato in modo sensibile	Azzurro	
Classe II	8-9	Ambiente in cui sono evidenti alcuni effetti dell'inquinamento	Verde	//////////
Classe III	6-7	Ambiente inquinato	Giallo	X X X X X X X X X X
Classe IV	4-5	Ambiente molto inquinato	Arancione	XXXXXXXXXXXXXXXXXX
Classe V	1-2-3	Ambiente fortemente inquinato	Rosso	=====



Tricotteri

Insetti acquatici, i tricoteri vivono in prossimità di stagni, laghi e fiumi. Le larve, che si schiudono in acqua, rimangono chiuse fino alla metamorfosi all'interno di un tubo setoso da esse secreto, nutrendosi in parte di frammenti vegetali, in parte di microscopici crostacei acquatici e di altre larve di insetti.



Efemerotteri

Le efemere sono insetti relativamente primitivi, affini alle libellule; come queste ultime, hanno forme larvali strettamente acquatiche e presentano ali sostenute da una fitta rete di nervature (un tipico carattere di primitività per gli insetti). A seconda delle specie, la metamorfosi finale in insetto adulto avviene dopo un periodo variabile da alcuni mesi a circa tre anni; in ogni caso, l'efemera adulta vive solo per il tempo necessario ad accoppiarsi e a deporre le uova.



Plecottero

I plecoteri costituiscono l'ordine degli insetti pterigoti. Gli adulti sono terricoli e caratterizzati da quattro ali di aspetto membranoso e da due filamenti sottili a uncino (cerci) posti all'estremità dell'addome; gli individui in fase giovanile sono acquatici e respirano per mezzo di tracheobranchie. Presenti sul fondo di ruscelli e fiumi d'acqua dolce, i giovani sono la fonte principale di cibo per trote e altri pesci.



CONTROLLO DELLA QUALITA' DELL'ARIA

Per il monitoraggio dell'aria si possono utilizzare come bioindicatori i

licheni epifiti, costituiti da associazioni simbiotiche tra Funghi Ascomiceti e Alghe verdi unicellulari o Cianobatteri.

I licheni possono essere anche bioaccumulatori, ovvero sono in grado di accumulare gli inquinanti che poi possono essere determinati.

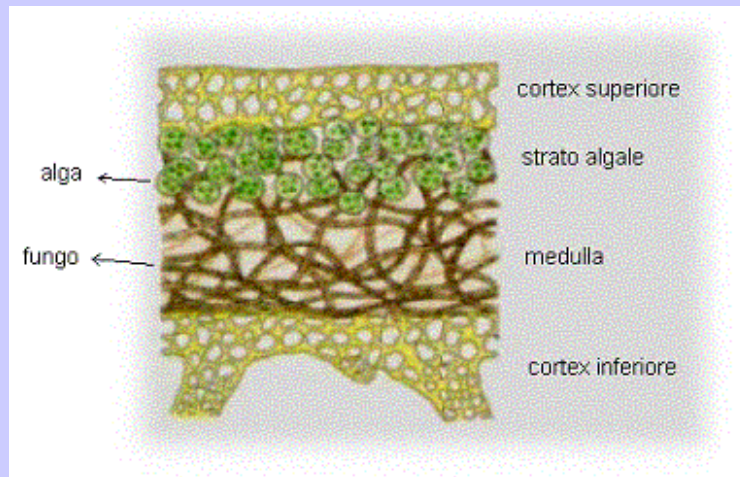
UNA PARENTESI: BIOMONITORS o BIOACCUMULATORI

- **Organismi indicatori in grado di accumulare sostanze contaminanti organiche o inorganiche (bioaccumulatori) che possono essere facilmente reperiti in natura o allevati e introdotti artificialmente in ambienti naturali per il monitoraggio biologico della qualità ambientale.**
- **Di norma i biomonitors vengono utilizzati solo come indicatori della presenza di contaminanti nell'ambiente e non dei loro effetti**
- **Lo studio degli effetti a livello di popolazione o comunità viene effettuato mediante altri metodi basati su bioindicatori (indici, biomarkers)**
- **Un buon biomonitor deve essere stanziale (preferibilmente sessile) e ampiamente distribuito sul territorio che si vuole monitorare.**

USO DEI LICHENI COME indicatori biologici

- Sensibilità verso l'inquinante
- Distribuzione significativa sul territorio
- Lungo ciclo vitale
- Stanzialità
- Capacità di accumulo degli inquinanti (bioaccumulatore)

Struttura interna dei licheni

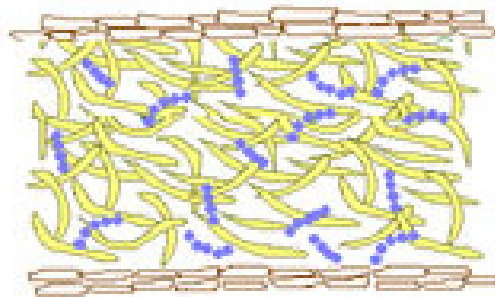


Corpo vegetativo = tallo

Il tallo è formato dall'intreccio delle ife del fungo con le cellule algali all'interno. Ne esistono due tipi.

1. Tallo con struttura eteromera, ovvero stratificata.
2. Tallo con struttura omeomera, ovvero omogeneo, non differenziato

TALLO OMEOMERO



Caratteristiche dei licheni, 1

- Nella simbiosi l'alga produce tramite fotosintesi carboidrati ed altre sostanze da cui il fungo trae nutrimento, mentre riceve in cambio dal fungo protezione contro l'essiccamento e le radiazioni solari nocive.
- I licheni possono passare rapidamente dallo stato idratato allo stato disidratato in modo da ridurre fotosintesi e respirazione, raggiungendo una sorta di quiescenza. Per questo sopravvivono anche in difficili condizioni ambientali e possono colonizzare gli habitat più diversi.
- Mancano di stomi, sono senza cuticola e privi di meccanismi di escrezione: i loro scambi di gas avvengono attraverso tutta la superficie del tallo.

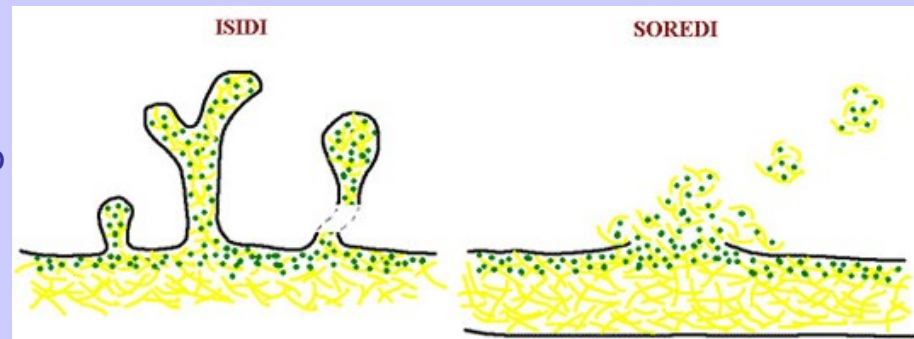
Caratteristiche dei licheni, 2

- Presentano elevate capacità di assorbimento
- Resistono agli stress ambientali
- Non sono in grado di liberarsi delle strutture vecchie e/o intossicate
- Crescono lentamente e sono molto longevi
- Sono sensibili agli inquinanti

**PERCIÒ SONO PERFETTI PER ESSERE
INDICATORI BIOLOGICI !**

Riproduzione nei licheni

- **Riproduzione attraverso spore:**
effettuata dal fungo grazie a corpi fruttiferi (apoteci e periteci) che producono spore;
una volta disperse le spore devono entrare in contatto con alghe allo stato libero per dare origine ad un nuovo lichene.
Le spore possono essere diverse per colore, dimensioni, forma e quantità.
- **Riproduzione vegetativa:**
per frammentazione, propagazione e germinazione di parte del tallo attraverso la formazione di due tipi di strutture, gli isidi e i soredi.
Gli isidi sono estroflessioni del tallo contenenti ife fungine e alghe; hanno aspetto vario: cilindrici, globosi, coralloidi, claviformi.
I soredi sono più piccoli e più leggeri: sono costituiti da un'alga avvolta da un ammasso di ife; hanno un aspetto pulverulento o granuloso.



Morfologia dei licheni

1. **Licheni crostosi:** tallo con aspetto di crosta
2. **Licheni foliosi:** tallo costituito da lobi più o meno paralleli al substrato, cui aderiscono con strutture speciali
3. **Licheni fruticosi:** con tallo che si sviluppa in tre dimensioni, assumendo forme pendenti, ramificate etc.

Licheni

Crostosi



Foliosi



Fruticosi



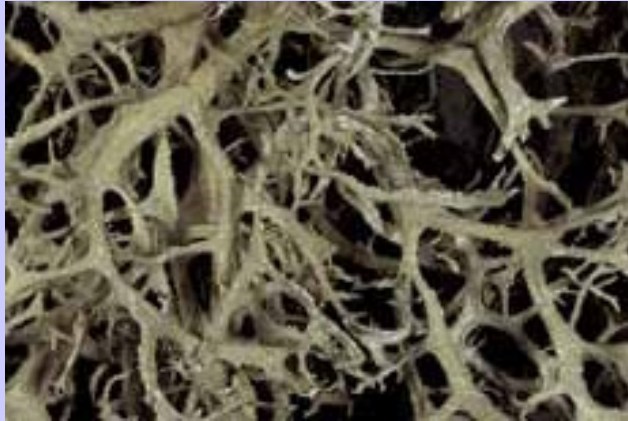
Licheni crostosi



Licheni foliosi



Licheni fruticosi



Licheni bioindicatori, approccio indiretto

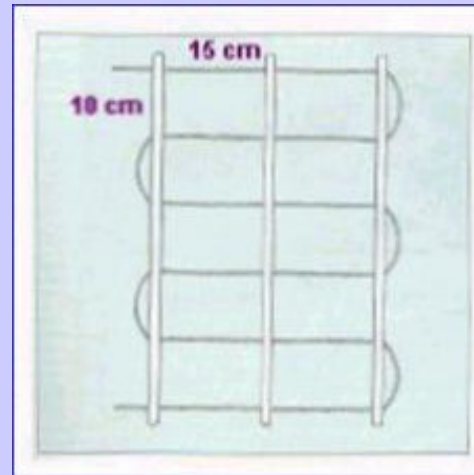
I licheni sono bioindicatori di ossidi di azoto, ossidi di zolfo e di ozono.

Le piante sulle quali si devono monitorare i licheni devono avere questi requisiti:

- non devono essere troppo giovani
- devono avere il tronco con una circonferenza minima di 70- 80 cm
- il tronco non deve essere molto inclinato
- non devono esserci scanalature o grosse nodosità
- la scorza non deve essere desquamante
- non devono essere stati effettuati trattamenti antiparassitari o verniciature del tronco
- non ci deve essere una forte presenza di muschio
- gli alberi devono essere il più possibile isolati

Indice di Purezza Atmosferica

- E' un indice utilizzato per stabilire la qualità dell'aria, abbreviato in IAP
- Con un rilevamento effettuato con un reticolato a maglia fissa per ogni pianta, si individuano le diverse specie di licheni e si contano gli individui, riportandole su una scheda apposita.



A 4x2 grid of squares. The top row has red squares in the first and third columns, and green circles in the second and fourth columns. The second row has a cyan triangle in the first column, a red square in the second, a green circle in the third, and a red square in the fourth. The third row has a red square in the first, a green circle in the second, a red square in the third, and a green circle in the fourth. The fourth row has a red square in the first, a green circle in the second, a red square in the third, and a green circle in the fourth. There are also blue vertical bars in the second and fourth columns of the second and third rows.	specie	frequenza	■ 1	10	● 2	10	▲ 3	5	■ 4	2	◆ 5		▲ 6	
specie	frequenza													
■ 1	10													
● 2	10													
▲ 3	5													
■ 4	2													
◆ 5														
▲ 6														
Albero 2	frequenza totale = 27													

A 4x2 grid of squares. The top row has red squares in the first and third columns, and green circles in the second and fourth columns. The second row has a cyan triangle in the first column, a blue vertical bar in the second, a cyan triangle in the third, and a blue vertical bar in the fourth. The third row has a red square in the first, a green circle in the second, a red square in the third, and a green circle in the fourth. The fourth row has a red square in the first, a green circle in the second, a red square in the third, and a green circle in the fourth. There are also blue vertical bars in the second and fourth columns of the second and third rows.	specie	frequenza	■ 1	10	● 2	10	▲ 3	7	■ 4	10	◆ 5		▲ 6	
specie	frequenza													
■ 1	10													
● 2	10													
▲ 3	7													
■ 4	10													
◆ 5														
▲ 6														
Albero 3	frequenza totale = 37													

Calcolo dello IAP

Sommando le frequenze di tutte le specie individuate, si ottiene la frequenza totale dell'albero considerato (valore di I.A.P. dell'albero), che in questo caso è:

per l'albero 1: I.A.P.= 15



per l'albero 2: I.A.P.= 27

per l'albero 3: I.A.P.= 37

L'indice di purezza atmosferica della 'stazione' è dato dalla media aritmetica delle frequenze totali degli alberi della stazione stessa:

$$\text{I.A.P.} = (15+27+37) / 3 \approx 26$$

Classi di qualità

Classi di qualità	Giudizio di qualità dell'aria	Colore		Valori di I.P.A.
1	Molto scadente	Rosso		0 - 5
2	Scadente	Arancione		5 - 10
3	Bassa	Giallo		10 - 15
4	Mediocre	Verde scuro		15 - 20
5	Media	Verde chiaro		20 - 25
6	Discreta	Azzurro		25 - 35
7	Buona	Blu		> 35

I valori di I.A.P. delle singole stazioni possono essere fatte rientrare in classi di qualità ciascuna delle quali corrispondente ad un intervallo di valori dell'indice e contraddistinta da un determinato colore.

Attenzione: non esistono classi di qualità standard valide per tutto il territorio nazionale, ma esse vengono scelte dall'operatore in base alle caratteristiche dell'area di studio e pertanto hanno un valore relativo.

Licheni bioaccumulatori, approccio diretto

- I bioaccumulato ri sono organismi in grado di sopravvivere in presenza di inquinanti che accumulano nei loro tessuti; con il loro uso è possibile ottenere dati sia di tipo qualitativo che quantitativo
- I licheni sono bioaccumulato ri di metalli pesanti

Metodologia

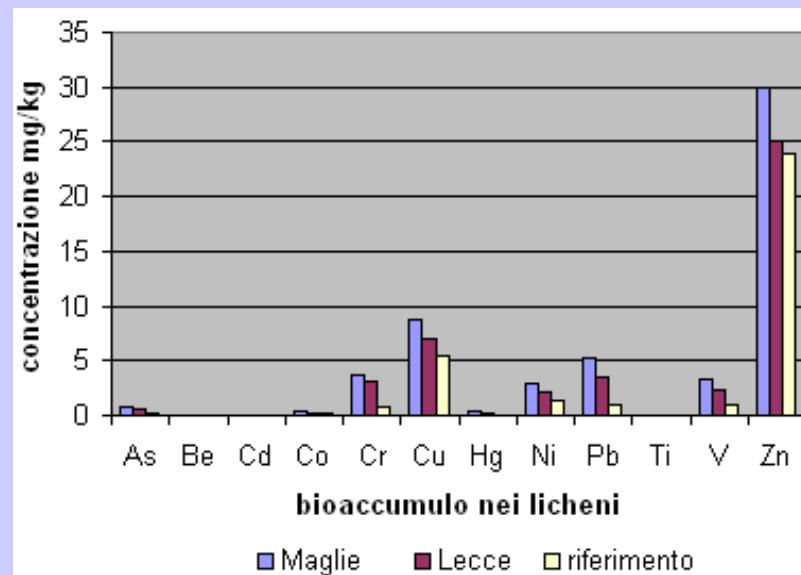


Si impiega la tecnica **del trapianto (o espianto) lichenico**, ovvero si prelevano da un'area non o poco contaminata alcuni talli di una sola specie e li si trapianta in stazioni opportunamente scelte.

I campioni vengono preventivamente analizzati per determinare le concentrazioni dei metalli pesanti già presenti (che verranno utilizzate come riferimento) e successivamente applicati su appositi supporti.

Le condizioni di esposizione dei campioni devono essere il più possibile omogenee, tali cioè da ridurre al minimo le influenze microambientali. I licheni devono pertanto essere ben esposti all'aria, ad un'altezza tale da non essere influenzati dal terreno sottostante (si consigliano circa 3 m di altezza) e sufficientemente lontani da fonti di emissione diverse da quella che si vuole studiare. Il tempo di esposizione può variare in funzione della/e fonte/i di emissione che si intendono monitorare e dello stato di salute dei talli lichenici che deve essere periodicamente verificato.

Al termine del periodo di esposizione i campioni, dopo esser stati raccolti, vengono essiccati, ripuliti, polverizzati, omogeneizzati e sottoposti a spettrofotometria ad assorbimento atomico per determinare le concentrazioni dei vari metalli pesanti: Cadmio, Cromo, Rame, Nichel, Piombo e Zinco. Successivamente le concentrazioni dei vari metalli pesanti sono elaborate attraverso programmi di cartografia computerizzata al fine di ottenere la visualizzazione di zone a diversa concentrazione del metallo considerato



Il monitoraggio chimico-fisico presenta costi elevati di acquisto delle centraline e manutenzione ed esegue il rilevamento solo di pochi parametri (CO, NOX, SO2, ecc.) in un preciso momento storico. Risulta impossibile effettuare il controllo su vaste aree e non ci sono dati su molti contaminanti, come metalli pesanti o idrocarburi policiclici aromatici, che possono essere nocivi anche a basse concentrazioni.

Il biomonitoraggio invece dà informazioni più generali sullo stato di salute dell'ambiente. Presenta vantaggi come costi di gestione limitati, possibilità di coprire vaste zone e territori diversificati, stima degli effetti combinati di più inquinanti sugli esseri viventi.

W il biomonitoraggio!!!

Insieme i due tipi di monitoraggio riescono a fornire un quadro preciso della qualità dell'aria.

Conclusioni

