



ANPA
Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

LE PIANTE COME INDICATORI AMBIENTALI
MANUALE TECNICO-SCIENTIFICO

RTI CTN_CON 1/2001

ANPA
Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi

Le piante come indicatori ambientali
Manuale tecnico-scientifico

Sandro Pignatti, Pietro M. Bianco, Giuliano Fanelli,
Stefania Paglia, Silvio Pietrosanti, Paolo Tescarollo

Responsabili di progetto ANPA
Matteo Guccione
Claudio Piccini

CTN_CON

Centro Tematico Nazionale
Conservazione della Natura

Responsabile CTN_CON
Chantal Trèves

Informazioni legali

L'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Informazioni addizionali sull'argomento sono disponibili nel sito Internet
<http://www.sinanet.anpa.it>

Supervisione editoriale a cura di:
Sarah Burgay, Livia Mobili (ARPA Valle d'Aosta)

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Stampato in Italia

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi
Via Vitaliano Brancati, 48
00144 Roma

Centro Tematico Nazionale – Conservazione della Natura
c/o ARPA Valle d'Aosta
Reg. Borgnalle, 3
11100 Aosta

INTRODUZIONE

L'idea di utilizzare la presenza di certi esseri viventi per definire le caratteristiche del territorio non è nuova: nell'Italia mediterranea si fa da tempo una netta distinzione tra la zona della vite e la zona dell'ulivo, nelle Alpi ci sono le valli del pino silvestre. In questi casi, la presenza di un albero permette di riassumere una serie di indicazioni che altrimenti sarebbe difficile, talora anzi impossibile, quantificare in maniera rigorosa. Anche gli animali vengono spesso utilizzati a questo scopo, ad es. la presenza di pesci ed altri organismi acquatici per definire le caratteristiche dell'ambiente marino e lagunare oppure delle acque interne. In tutti questi casi, la presenza di un singolo organismo, facilmente osservabile, è sufficiente ad indicare l'esistenza di caratteristiche complesse: la presenza dell'ulivo nel paesaggio agrario indica un ambiente al riparo da gelate primaverili, la presenza della trota nel torrente alpino è indice di acque ben ossigenate.

Dal componente biologico dell'ecosistema è dunque possibile ricavare la bioindicazione, cioè un'informazione sui fattori che regolano la vita nell'ecosistema stesso. Oggi vi è molto interesse verso una migliore conoscenza dei cicli ambientali ed è chiaro che i bioindicatori e la bioindicazione possono fornire un contributo importante. Qualsiasi tipo di organismo può rappresentare - potenzialmente - un bioindicatore, quando venga correttamente inserito nel contesto dell'ecosistema. Ci si propone in questo quadro di far conoscere le possibilità di bioindicazione che vengono offerte dal mondo vegetale, come introduzione ad una problematica più ampia, che potrebbe investire molti altri gruppi di viventi.

Presentiamo qui una trattazione sintetica ed informativa delle esperienze che si sono accumulate negli ultimi anni sull'uso dei vegetali come indicatori di processi ambientali. Per meglio circoscrivere l'argomento ci siamo limitati ai vegetali superiori e soprattutto a quelli terrestri. Il lavoro rappresenta una sintesi di problematiche che sono state messe in luce durante il primo periodo di attività del CTN_CON, organizzato dall'ANPA con la partecipazione delle ARPA di varie regioni e di varie Istituzioni di Riferimento tra le quali il Forum Plinianum, che ha curato la redazione.

La trattazione che qui si presenta si rivolge soprattutto a chi opera sul territorio. Essa ha lo scopo di far conoscere le possibilità di bioindicazione attraverso la vegetazione, come risultano dalle esperienze finora realizzate e dall'applicazione di sistemi di riferimento di significato generale. Per il nostro paese, una visione sintetica su questi argomenti finora mancava. Quanto qui esposto va letto come un contributo a presentare il problema della bioindicazione in una visione unificata: questo permette di introdurre il discorso sulla gestione dell'informazione attraverso banche dati così da arrivare ad un sistema conoscitivo per l'ambiente. E' prevedibile che questa problematica possa venire sviluppata in veri e propri manuali operativi, ad es. per i problemi forestali oppure per gli effetti del cambio climatico, come viene delineato nelle schede che concludono il volume.

Sandro Pignatti

INDICE

1.	LA FILOSOFIA DI BASE	1
1.1	Lo spazio ecologico	1
1.2	Le relazioni pianta-ambiente	2
1.1.1	<i>Luce</i>	3
1.1.2	<i>Calore</i>	3
1.1.3	<i>Acqua</i>	5
1.1.4	<i>Fattori edifici</i>	6
1.3	La bioindicazione	7
1.4	Storia della bioindicazione	7
1.5	I “valori di indicazione” secondo Ellenberg	9
1.6	Altri metodi di bioindicazione autoecologica	11
1.6.1	<i>Gli indici di Landolt</i>	11
1.6.2	<i>Indice di emerobia</i>	12
1.7	Bioindicazione statistica o sinecologica	13
1.7.1	<i>Life strategies: categorie CSR di Grime</i>	13
1.7.2	Fuzzy sets	14
1.7.3	<i>Integrazione di bioindicatori vegetali con altri</i>	16
1.8	Forme biologiche e Corotipi	16
2.	LIVELLI DI ANALISI	20
2.1	Tre livelli di indagine	20
2.2	Flora, Vegetazione e Complesso di vegetazione	20
2.3	Relazioni geografiche e bioclimate	30
2.4	Inventario flogistico	32
2.5	Individui di pregio	33
2.6	Bioindicazione statistica	34
2.6.1	<i>Bioindicazione di variazioni nello spazio e nel tempo</i>	34
2.7	Carte della vegetazione ed ecologiche	35
2.7.1	<i>Dati satellitari</i>	36
2.8	Biodiversità	37
3.	STRUMENTI DI ANALISI	40
3.1	Cenni sulle metodologie informatizzate per l’analisi ambientale	40
3.2	Le banche dati	40
3.3	Costruzione di una banca dati	41
3.4	Database relazionali	42
3.5	Ricchezza in specie ed endemismi	45
3.6	Ecogrammi e corogrammi	47
4.	IL CASO ITALIA	49
4.1	La Flora d’Italia (Pignatti, 1982) come base di dati	49
4.2	Densità floristica in Italia	51
4.3	Il limite tra zona continentale e zona mediterranea in Italia	53
4.4	Relazioni topografiche ed ecosistemiche	60

4.5	Fasce altitudinali	63
4.6	Zonazione lungo un gradiente di umidità	64
4.7	Zonazione sui litorali sabbiosi	66
4.8	Zonazione causata da discontinuità topografiche	67
4.9	Zonazione su scala regionale	68
4.10	Ecologia del paesaggio	72
5.	RISULTATI ED APPLICAZIONI	76
5.1	Carte della vegetazione e carte derivate	76
5.2	Naturalità della vegetazione	77
5.2.1	<i>Complessi di vegetazione ed impatto ambientale</i>	77
5.2.2	<i>Avventizie e specie invasive</i>	78
5.2.3	<i>Emerobia</i>	79
5.3	Le modificazioni della flora indotte dall'urbanizzazione: il caso di Valle dell'Inferno	82
5.4	Riscaldamento globale	84
5.5	Dinamica della vegetazione	85
5.6	I licheni come indicatori dell'inquinamento atmosferico	86
5.7	Parametrizzazione della vegetazione	87
5.8	Monitoraggio in continuo	88
6.	ESEMPI DI BIOINDICAZIONE	90
6.1	Le zone biogeografiche d'Italia	90
6.1.1	<i>Alpina</i>	90
6.1.2	<i>Continenteale</i>	90
6.1.3	<i>Mediterranea</i>	92
6.2	Suolo	92
6.3	Substrati: distinzione tra silice e calcare	93
6.4	Ambiente costiero	94
6.4.1	<i>Coste rocciose e scogliere</i>	94
6.4.2	<i>Coste basse, fangose</i>	95
6.4.3	<i>Lagune</i>	95
6.4.4	<i>Risalita d'acqua salmastra in primavera</i>	95
6.4.5	<i>Coste sabbiose, spiagge e dune</i>	95
6.5	Pascolo	96
6.5.1	<i>Pascolo bovino eccessivo</i>	96
6.5.2	<i>Pascolo ovino (Italia Mediterranea)</i>	96
6.5.3	<i>Pascolo equino</i>	96
6.5.4	<i>Concimaie (Alpi)</i>	96
6.5.5	<i>Stazzi (Italia mediterranea)</i>	97
6.6	Incendio	97
6.6.1	<i>Nel querceto misto caducifoglio</i>	97
6.6.2	<i>Nel bosco sempreverde (lecceta)</i>	97
6.6.3	<i>Nella macchia e gariga</i>	97
6.6.4	<i>Pratelli su suolo decalcificato a causa di ripetuti incendi</i>	98
6.6.5	<i>Antiche carbonaie</i>	98
6.7	Ambiente forestale	98
6.7.1	<i>Specie saprofite</i>	99

6.8	Zone umide	99
6.8.1	<i>Paludi in ambiente alpino</i>	99
6.8.2	<i>Suoli umidi lungo i corsi d'acqua</i>	100
6.8.3	<i>Canali in prossimità delle coste</i>	100
6.9	Ambiente urbano	100
6.9.1	<i>Ambienti calpestati</i>	100
6.9.2	<i>Produzione di polline con allergeni (pollinosi)</i>	100
6.9.3	<i>Terreni urbani ricchi in nitrati</i>	101
6.10	Paesaggio	101
6.11	Cartina dei tipi paesistici in Italia	103
BIBLIOGRAFIA		104

1. LA FILOSOFIA DI BASE

1.1 Lo spazio ecologico

Il termine **ambiente** fu usato per la prima volta agli inizi del 1800 dal poeta danese Jens Bagesen in lingua tedesca con la parola Umwelt: questa deriva dai termini “Um” che significa attorno e “Welt” mondo, quindi tradotto letteralmente sta ad indicare “il mondo che sta attorno”. Questa affermazione sottintende la presenza centrale di un osservatore, rappresentato da un qualsiasi organismo vivente, e tende a rappresentare il “mondo” intorno ad esso come l’insieme dei fattori abiotici che lo circondano. Ma risulta evidente che la distinzione tra essere vivente ed ambiente ha solo un significato operativo dato che essi costituiscono un insieme inscindibile. Un’evoluzione di tale visione si ha con l’introduzione del concetto di **ecosistema** dove biotico e abiotico entrano in interazione a formare un sistema più o meno complesso. Ogni variabile fisica, chimica o biologica in grado di influire sull’ecosistema in toto o sulla vita di un singolo organismo che ne fa parte assume il ruolo di fattore ecologico. Genericamente si identificano fattori abiotici quali luce, temperatura, umidità, chimismo del suolo e delle acque, ecc. e fattori biotici che includono interazioni intra- e interspecifiche tra viventi.

Alla luce di quanto detto si può ridefinire l’ambiente come “qualsiasi condizione che permetta lo svolgimento delle funzioni che vengono indicate come vita” (PIGNATTI e TREZZA 2000). L’ambiente si estende su uno spazio fisico euclideo definibile secondo i tre assi cartesiani x y z, ma se consideriamo l’insieme di fattori sopracitati che lo descrivono ci si trova di fronte ad uno spazio multidimensionale (iperspazio) a n variabili: lo **spazio ecologico**.

I parametri che individuano lo spazio ecologico sono eterogenei, riguardano sia materia che energia e possono avere carattere spaziale, temporale o informativo; ad esempio un prato può essere rappresentato come superficie (metri quadrati), biomassa (grammi), altezza degli strati erbacei (metri), diversità (numero di specie), banca dei semi (numero semi/centimetri quadrati di suolo), ecc. Ne deriva che esso non ha una propria metrica lineare in quanto le unità di misura dei diversi parametri non sono trasformabili l’una nell’altra. Ogni tentativo di modellizzazione matematica di un ecosistema secondo una impostazione olistica risulta di conseguenza estremamente difficoltoso e pone il ricercatore di fronte ad ostacoli spesso insormontabili.

Il ricorso alla modellizzazione di sistemi complessi autorganizzanti tramite simboli ha avuto maggior successo in quanto i diagrammi di flusso relativi risultano essere più comprensibili e di facile intuizione. Alcuni esempi sono riportati da ODUM H.T. (1957), ULGIATI (1998) e PIGNATTI, TREZZA (2000). Resta aperto il problema che ad una buona descrizione ancora non corrisponde una soddisfacente quantificazione dei dati analizzati: su questo punto sono tuttora concentrati gli sforzi di una parte degli ecologi a livello internazionale.

Una possibile soluzione, che ad un primo esame potrebbe sembrare riduzionistica, sta nell’analizzare singole componenti di un sistema biologico o ecosistema che lo

rappresentino significativamente o che almeno diano importanti informazioni sulle sue parti principali. In altre parole, si tratta di linearizzare le n variabili ambientali riducendole ad uno/pochi fattori. Per comprendere meglio possiamo paragonare questa operazione con qualcosa a noi più familiare: quando ci misuriamo la febbre per valutare uno stato di malessere linearizziamo ad un fattore (temperatura) le n variabili che interagiscono per il funzionamento del corpo umano (sistema complesso) ed otteniamo in ogni caso un'importante indicazione sulla nostra salute.

Ogni essere vivente animale o vegetale può darci informazioni sull'ambiente in cui vive ed al quale si è adattato: in questa trattazione si centerà l'attenzione sugli organismi autotrofi, intesi sia come singola specie vegetale che come comunità

1.2 Le relazioni pianta-ambiente

La crescita delle piante è regolata in maniera ben precisa: esse sono intimamente legate all'ambiente dove si trovano e sono condizionate da una serie di fattori ecologici e storici che giustificano o meno la loro presenza in un determinato luogo. Ogni specie vegetale ha nei confronti di ciascun fattore ecologico un ambito di tolleranza entro il quale può svolgere le proprie funzioni vitali. L'ampiezza di tale ambito varia da specie a specie: quelle ad ecologia ampia prendono il nome di euriecie, mentre quelle più esigenti, con tolleranza ecologica ristretta, sono dette stenoecie e sono quelle che danno il contributo più utile in termini di bioindicazione. Da un punto di vista autoecologico i fattori ecologici possono agire sulle dimensioni del singolo individuo, sulla sua forma, possono influenzare le manifestazioni biologiche cicliche e la stessa durata della vita. Inoltre essi possono controllare la consistenza delle popolazioni, agendo sul tasso di riproduzione, sulla competitività, sulla capacità di germinazione e sulla velocità di crescita. Di contro gli organismi vegetali possono influire sull'ambiente modificando l'entità e la qualità di alcuni fattori, come ad esempio limitando la quantità di radiazione solare nelle vegetazioni stratificate o incrementando la quantità di sostanza organica con accumulo di necromassa o ancora acidificando il suolo come accade per alcuni boschi di conifere.

Come già accennato in precedenza i fattori ecologici possono essere idealmente suddivisi in abiotici e biotici come schematizzato nella tabella sottostante:

Fattori abiotici		Fattori biotici
Fisici	Chimici	
Luce	Comp. Chim. Acqua	Competizione interspecifica
Calore	Comp. Chim. Suolo	Competizione intraspecifica
Pioggia, Umidità	Comp. Chim. Aria	Simbiosi
Granulometria suolo		Microbiologia suolo
Vento		Disturbo antropico
(Altitudine)		
(Esposizione)		
(Inclinazione)		

Tabella n. 1.1: Fattori biotici e abiotici.

1.1.1 Luce

La luce rappresenta l'unica sorgente di energia disponibile per gli organismi vegetali: essa deriva quasi totalmente dal sole e giunge sulla terra sotto forma di radiazione solare. La quantità di energia che ci arriva dal sole può essere considerata costante e prende il nome di costante solare: $1,983 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ ($=1,983 \text{ langley/min}$). Il bilancio netto annuale della radiazione solare che entra nella biosfera prevede che circa il 30 % del totale viene riflesso, il 46 % è convertito direttamente in calore, il 23 % è assorbito dall'atmosfera ed utilizzato per i processi di evaporazione e precipitazione e solo lo 0,8 % è utilizzato per i processi biologici degli organismi autotrofi (HULBERT 1971).

L'azione della luce sulla vita vegetale si esplica principalmente in due modi: sulla crescita delle piante, in quanto la luce influenza la fotosintesi, e sui fenomeni periodici della specie attraverso il fotoperiodismo.

In base all'adattamento alle diverse intensità luminose si distinguono piante **sciafile**, che si presentano in ambienti ombrosi quali sottobosco (*Primula vulgaris*, *Scilla bifolia*, *Anemone nemorosa*, ecc) e rupi stillicidiose (*Adiantum capillus-veneris*) e piante **eliofile**, che hanno il loro optimum in pieno sole come gran parte delle specie di prateria.

Alcune specie, soprattutto tra quelle arboree (es. *Quercus ilex*), possono presentare su uno stesso individuo adattamenti morfologici diversi per le foglie esposte direttamente al sole e quelle ombreggiate dal resto della chioma. Tale dimorfismo fogliare è espresso nelle foglie da sole più coriacee, sclerificate, con disposizione dei cloroplasti perpendicolari alla superficie esposta e stomi infossati mentre le foglie da ombra sono flaccide, più espanse, spesso di colore più chiaro e con cloroplasti paralleli.

1.1.2 Calore

L'energia termica condiziona la distribuzione delle specie vegetali in senso geografico, altitudinale ed anche a livello di microhabitat. Essa influenza le principali funzioni fisiologiche di una pianta, prime fra tutte fotosintesi, respirazione e traspirazione. Le piante sono organismi eterotermi quindi hanno temperature organiche simili a quelle dell'ambiente circostante, a parte alcuni casi particolari (es. *Arum*).

I limiti di temperatura entro i quali si svolgono le attività biologiche delle piante si attestano all'incirca tra 0 e $+50^\circ \text{C}$: al di sotto di 0°C la fotosintesi è pressoché nulla e la pianta entra in vita latente ed al di sopra di 50°C iniziano fenomeni di coagulazione del protoplasma.

Gli areali di distribuzione di alcune specie spesso mostrano interessanti correlazioni con le isoterme del mese più caldo o più freddo: ad esempio il limite settentrionale del *Fagus sylvatica* coincide con l'isoterma di -2°C di gennaio (Figura 1.2) e quello del *Picea abies* con l'isoterma di 10°C di luglio (Figura 1.1).

Esistono vari sistemi per stabilire categorie vegetali in relazione alla temperatura, quello

di maggior uso in geobotanica definisce specie **termofile** quelle con optimum a temperature relativamente elevate, specie **mesoterme** quelle che si attestano su valori intermedi e specie **microterme** o **criofile** quelle di ambienti molto freddi di alta montagna o alle latitudini più elevate.

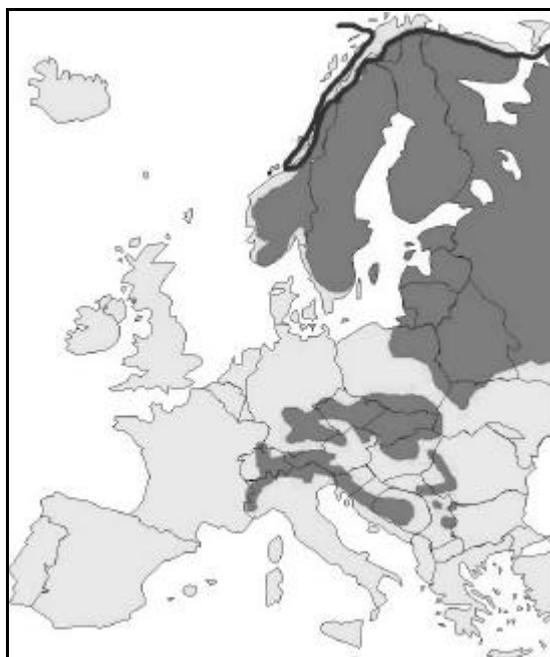


Figura n. 1.1: Areale di *Picea abies* e isoterma 10°C (luglio).

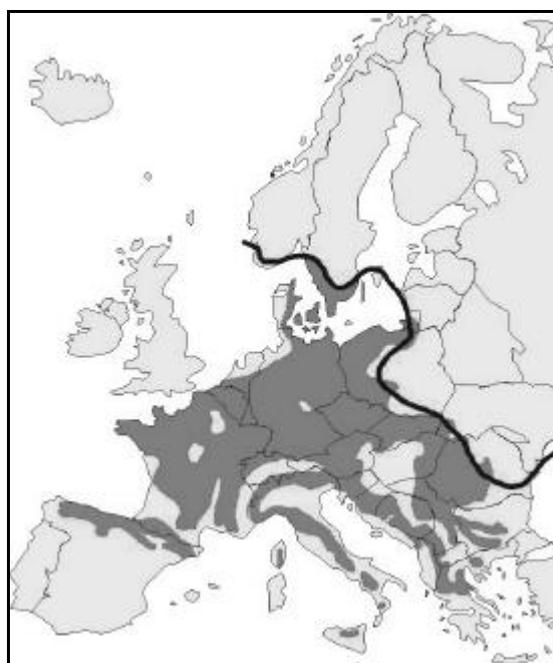


Figura n. 1.2: Areale di *Fagus sylvatica* e isoterma -2°C (Gennaio).

1.1.3 Acqua

L'acqua è la sostanza più diffusa sulla superficie della terra: è stato calcolato che solo negli oceani sono presenti circa 1350 milioni di Km³ di H₂O. Essa è indispensabile per la vita in genere ed in particolare per quella degli organismi vegetali, permettendo i principali processi fisiologici come assorbimento e trasporto delle sostanze nutritive, fotosintesi, traspirazione, ecc. Gli adattamenti delle piante rispetto al fattore acqua sono innumerevoli e sorprendenti: basti pensare alla succulenza, alla sclerofillia, al metabolismo CAM delle crassulacee; WARMING nel 1895 introdusse una classificazione empirica delle piante in base al loro adattamento ad ambienti con diverse disponibilità di acqua; seppur limitativa e schematica tale terminologia è tuttora in uso. Egli distinse:

- idrofite piante immerse totalmente o parzialmente nell'acqua;
- i. pleustofite* piante natanti (*Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia*, ecc.);
- i. rizofite* piante radicate al fondale (*Myriophyllum*, *Potamogeton*, ecc.);
- igrofite piante adattate a luoghi umidi o periodicamente inondate;
- mesofite piante adattate a quantità di acqua moderate;
- xerofite piante di ambienti aridi.

(* secondo DEN HARTOG e SEGAL).

Il ruolo dell'acqua come fattore ecologico esce dagli schematismi in quanto può essere considerata indipendentemente fattore chimico, se si considera la composizione dei sali in soluzione, fattore fisico, quando è intesa come mezzo di trasporto, fattore climatico se si valutano le entità medie di pioggia, neve, umidità atmosferica.

Pioggia

La piovosità ha influenza a livello regionale ed è quindi di grande importanza nella distribuzione di specie ed associazioni vegetali. In base all'andamento ed alla quantità di piogge annuali si caratterizzano i regimi delle precipitazioni. In Italia si distinguono quattro principali regimi pluviometrici: *regime continentale* tendenzialmente arido con precipitazioni concentrate ad inizio estate (Valtellina, valli a *Pinus sylvestris*), *regime prealpino* con precipitazioni massime durante gli equinozi (prealpi e pianura padana), *regime appenninico* senza un evidente periodo di aridità, ma con piogge ridotte nel periodo estivo e *regime mediterraneo* con periodo di aridità estiva e massimo di precipitazioni invernale.

Umidità atmosferica e nebbia

La presenza di nebbia ed alta umidità atmosferica ha sulle piante l'effetto di limitazione della traspirazione. Alti tassi di umidità incrementano la crescita e la formazione delle foglie mentre hanno effetto opposto su fioritura e fruttificazione.

Neve

Il principale effetto della copertura nevosa sulle piante è quello di isolante dalla luce e dalle basse temperature esterne. Per le specie delle alte montagne una buona copertura

nivale rappresenta una protezione rispetto agli sbalzi di temperatura ed umidità per superare i mesi più freddi, in quanto essa previene il gelo del suolo e permette agli organismi vegetali di sopravvivere in una condizione di vita rallentata.

1.1.4 Fattori edafici

Col termine fattori edafici si indicano tutti quei fattori ecologici riferibili al substrato sul quale si sviluppa un organismo vegetale. Si avranno quindi fattori fisici (granulometria, acqua, aria, temperatura del suolo), chimici (pH, ioni, sali, nutrienti, ecc.) e biotici (microorganismi, micorrize, ecc.). La granulometria di un suolo indica la composizione percentuale delle diverse classi di grandezza dei clasti misurate secondo lo schema seguente:

FRAZIONE	DIAMETRO MEDIO
Sabbia grossa	2 - 0,5 mm
Sabbia media	0,5 - 0,25 mm
Sabbia fine	0,25 - 0,05 mm
Limo	0,05 - 0,002 mm
Argilla	< 0,002 mm

Tabella n. 1.2: Granulometria del suolo.

La granulometria dei diversi orizzonti di un suolo ha influenza sulle piante in quanto regola l'aerazione, la ritenzione idrica, la meccanica del substrato, ecc. In base alla preferenza per diversi tipi tessiturali si distinguono specie **psammofile** caratteristiche dei suoli sabbiosi incoerenti (*Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Sporobolus virginicus*), specie **glareicole**, dei ghiaioni e delle pietraie mobili (*Isatis allioni*, *Festuca dimorpha*, *Oxyria digyna*), specie **argillofile** dei terreni limoso-argillosi (*Arundo plinii*, *Hedysarum coronarium*). Sono invece chiamate **casmofoite** le piante adattate alla crescita su rupi verticali e dei muri (*Ceterach officinarum*, *Cymbalaria muralis*, *Erigeron karwinskianus*).

Il pH è un importante fattore di selezione per le piante: esso influenza la disponibilità di nutrienti o favorisce il rilascio di ioni che possono risultare dannosi. L'ambito biologico per il pH è normalmente incluso tra 4 e 10. Sono definite specie **acidofile** quelle con optimum a pH 6 o meno (*Erica arborea*, *Carex curvula*, *Rhododendron ferrugineum*), specie **basifile** quelle con optimum a 7.5 o più (*Rosmarinus officinalis*, *Sesleria tenuifolia*, *Rhododendron hirsutum*) e specie **neutrofile** con optimum intorno a pH 7. Legate in un certo senso a substrati con pH basico sono le specie **calcifile** tipiche dei terreni ricchi in ioni Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ a roccia madre calcarea o dolomitica.

Tra le sostanze nutritive sono di primaria importanza il Fosforo e le sostanze azotate, in particolar modo i nitrati: l'azoto atmosferico è reso assimilabile per le piante dall'azione di batteri azotofissatori quali *Azotobacter*, *Rhizobium*, ecc. Le specie vegetali adattate a terreni particolarmente ricchi in nitrati sono dette **nitrofile** (*Urtica dioica*, *Chenopodium bonus-henricus*, *Stellaria media*).

Una flora particolare, infine, si sviluppa sui terreni salati o salmastri: si tratta delle

alofite, specie capaci di tollerare alte concentrazioni di NaCl (*Salicornia* sp.pl., *Limonium* sp.pl., ecc).

1.3 La bioindicazione

I termini bioindicazione, biomonitoraggio e bioindicatore oggi sono quanto mai attuali: essi sono generalmente utilizzati nelle tematiche legate a problemi di inquinamento atmosferico, idrico o del suolo. Secondo tale approccio viene definito "*bioindicatore*" un organismo che risponde con variazioni identificabili del suo stato a determinati livelli di sostanze inquinanti e "*bioaccumulatore*" un organismo che può essere usato per misurare la concentrazione di una sostanza, ottenendo risposte quantitative oltre che qualitative (NIMIS 1989 B,C). Nel biomonitoraggio gli organismi vengono utilizzati come "sentinelle ambientali". Essi possono essere impiegati come bioindicatori se le modifiche del loro stato naturale in presenza di sostanze inquinanti sono sensibili e possono portare ad una riduzione della vitalità ed anche alla morte, o come bioaccumulatori quando sono in grado di sopravvivere alla presenza di una determinata sostanza, accumulandola e permettendone una quantificazione. In questo senso quindi un buon bioindicatore deve soddisfare determinati criteri: avere una accertata sensibilità verso la sostanza tossica indagata; essere ampiamente distribuito nella zona di indagine; avere scarsa mobilità; avere un ciclo vitale sufficientemente lungo.

In realtà i margini di applicazione della bioindicazione vanno ben al di là del semplice monitoraggio degli inquinanti. Estendendo il concetto di bioindicatore allo studio degli ecosistemi in genere, si può arrivare ad una definizione più ampia come "un organismo in grado di fornire informazioni su uno/più fattori ecologici di un determinato ambiente in base alla sua presenza/abbondanza".

In questi termini l'utilizzo di singole specie o di intere comunità vegetali assume un ruolo di primaria importanza in numerosi campi: monitoraggio ambientale dell'inquinamento, valutazione dei cambiamenti climatici, analisi del grado di naturalità e di antropizzazione, analisi della biodiversità, gestione e pianificazione territoriale, prevenzione dagli incendi, analisi microclimatiche a scala fine, conservazione, ripristino ambientale, ingegneria naturalistica, gestione dei pascoli e delle foreste, depurazione delle acque, reti ecologiche, ecc. Approfondimenti ed esempi specifici saranno esaminati nei capitoli successivi.

1.4 Storia della bioindicazione

La possibilità di utilizzare le piante come indicatori delle condizioni ambientali è stata proposta da molti Autori, già nelle fasi iniziali della ricerca ambientale. Il concetto di indicatore è chiaramente espresso nel titolo dell'opera di CLEMENTS "*Plant succession and indicators*" (1928) che ebbe un'influenza fondamentale sul primo sviluppo della ricerca geobotanica negli USA. Però le prime applicazioni si ebbero attraverso l'uso di specie riferibili al gruppo delle crittogame, forse perché, trattandosi di piante che si

riproducono mediante spore, la loro distribuzione è maggiormente soggetta a fattori casuali e quindi fornisce una base adatta al trattamento di tipo statistico. Già negli anni '20 FELDMANN, sintetizzando le sue ricerche sulle alghe marine delle coste francesi, proponeva un Indice di Rodoficee, ottenuto dividendo il numero delle specie di alghe rosse per la somma delle alghe verdi ed alghe brune: si ottengono valori varianti tra 1 e 4, ai quali corrispondono condizioni di crescente purezza delle acque e naturalità dell'ambiente. Grande interesse suscitava la pubblicazione del libro di BARKMAN (1969) sulla possibilità di utilizzare il numero delle specie di licheni corticicoli per la valutazione della qualità dell'aria nei centri urbani. Su questo modello venivano pubblicate numerose ricerche, anche in Italia (es. NIMIS, 1985, 1986, 1989a), e concetti quali il "deserto lichenico" causato dall'accumulo di inquinanti nell'atmosfera sono entrati nel linguaggio dei mezzi di comunicazione di massa.

Il primo importante contributo all'uso dell'informazione ricavata dalla distribuzione delle piante vascolari viene dato dal manuale di AICHINGER (1967) nel quale sono illustrate le specie dell'ambiente boschivo in Austria ed il loro valore di indicatori delle condizioni di crescita e della fertilità del suolo. Questo manuale, di facile comprensione, è specificamente destinato all'uso da parte dei tecnici forestali. Nello stesso periodo OBERDORFER pubblica una flora tascabile della Germania, nella quale per ogni specie viene indicata dettagliatamente l'ecologia e la relativa possibilità di bioindicazione. Questo è il primo esempio del genere, nella sterminata letteratura floristica. Questa opera ha avuto grande successo (7 edizioni).

Lo studio degli indicatori viene impostato in maniera rigorosa nell'opera di ELLENBERG, la cui prima redazione risale al 1974; in seguito essa veniva ripubblicata due volte con modifiche ed integrazioni, la bioindicazione veniva estesa a muschi e licheni, e venivano pubblicati programmi ad hoc per la trattazione automatica dei dati.



Figura n. 1.3: Confronto fra l'isoterma di 5°C e la distribuzione del muschio *Leptodon smithii* in Europa (da Pocs, ridisegnata).

1.5 I “valori di indicazione” secondo Ellenberg

Come già accennato in precedenza, un ecosistema è caratterizzato da numerosissimi parametri e questo rende difficoltoso sia il rilevamento che l'interpretazione dei dati relativi ai vari aspetti dell'ambiente considerato.

Un metodo pratico ed ugualmente efficace consiste nel prendere in considerazione singolarmente alcune specie viventi appartenenti all'ecosistema studiato, scegliendole tra quelle che risultano essere particolarmente sensibili a determinati aspetti del sistema stesso (Figura 1.3); in questo modo dalla presenza o assenza della specie possiamo derivare alcune caratteristiche del sistema in analisi.

Anche se in teoria ogni specie vivente è legata all'ambiente in cui vive, e quindi riflette le caratteristiche di quest'ultimo, per la scelta di un bioindicatore ci si orienta generalmente verso specie per le quali la reattività agli stimoli esterni all'ecosistema sia ben nota o facilmente valutabile.

A questo scopo le specie vegetali possono venire inquadrare ed interpretate sulla base delle loro esigenze ecologiche. Il sistema che ha raggiunto il maggiore approfondimento è dovuto a Ellenberg e viene descritto qui sotto; si usano inoltre gli indici di Landolt, di emerobia ed altri.

La bioindicazione secondo Ellenberg consiste in un insieme di valori assegnati a ciascuna specie vegetale che ne quantificano il carattere di indicatore ambientale. ELLENBERG (1974, 1985, 1992) ha presentato questo sistema per circa 2000 specie del centro Europa, basandosi sull'esperienza di 40 anni di ricerche ecologiche di molti specialisti nel campo. Per ciascuna specie sono riportati sei indici, divisi idealmente in due categorie, espressi numericamente in una scala da uno a nove:

- FATTORI CLIMATICI:
 - L = indice di luminosità (*Lichtzahl*) : varia da situazioni di piena ombra in sottoboschi chiusi (1) a piena luce in aperta campagna (9);
 - T = indice di temperatura (*Temperaturzahl*) : descrive un gradiente termico che va dalle specie di clima freddo, delle zone boreali e delle montagne (1) a specie di clima caldo mediterraneo (9);
 - K = indice di continentalità (*Kontinentalitätszahl*) : è basato sulla corologia delle specie indagate variando da specie oceaniche delle coste atlantiche (1) a specie continentali delle zone interne dell'Eurasia (9).

- FATTORI EDAFICI:
 - F = indice di umidità (*Feuchtezahl*) : esprime il gradiente edafico che va da suoli secchi su versanti rocciosi (1) a suoli impregnati d'acqua non ben aerati (9). In questa categoria sono stati aggiunti gli indici supplementari 10-11-12 per indicare suoli inondata periodicamente o perennemente;
 - R = indice di pH (*Reaktionszahl*) : valuta la reazione ionica del suolo e varia da substrati molto acidi (1) a substrati alcalini (9);
 - N = indice di nitrofilia (*N-zahl*) : si basa sul contenuto di azoto assimilabile (NH₄, NO₃) e varia da suoli molto poveri in azoto (1) a suoli fertilizzati con eccesso di azoto (9).

Nel lavoro originale (ELLENBERG 1974) vengono presentate per ciascuna specie indicazioni aggiuntive sulla salinità del substrato e sulla tolleranza della pianta ai metalli pesanti, con la seguente simbologia:

- - = salinità normale (glicofite);
- **I** = specie alo-tolleranti;
- **II** = alofite facoltative;
- **III** = alofite obbligatorie;
- **b** = poco tolleranti ai metalli pesanti;
- **B** = ben tolleranti ai metalli pesanti.

Successivamente gli indici ecologici di Ellenberg sono stati elaborati anche per le flore di Polonia (ZARZYCKY 1984) e Ungheria. Infine per la flora d'Italia si è operata l'integrazione con tutte le specie mediterranee non incluse nel lavoro originale con le relative modifiche tenuto conto delle variazioni dell'optimum ecologico alle nostre latitudini (PIGNATTI dati non pubbl.). L'uso dei valori di Ellenberg è fondamentale per la bioindicazione e su di esso si tornerà ampiamente soprattutto nei capitoli 2 e 3.

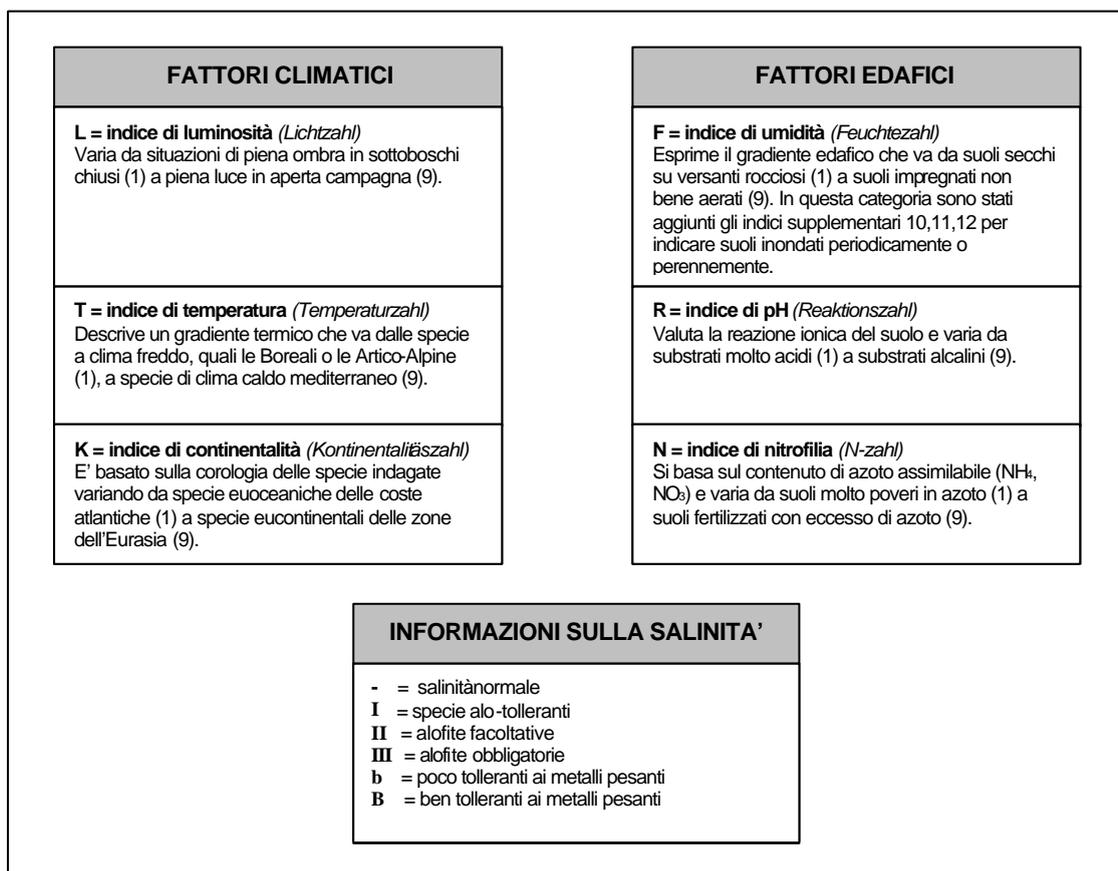


Figura n. 1.4: Schematizzazione dei parametri ecologici di Ellenberg.

I limiti di tale sistema stanno nel fatto che si tratta di una scala empirica, quindi i valori numerici non sono del tutto affidabili e possono portare ad errori di interpretazione se applicati in maniera assoluta. Tuttavia essi trovano un impiego sicuro ed attendibile

nella comparazione tra vari tipi di vegetazione, allo scopo di evidenziare gradienti ecologici. In questo ambito si è notata la maggior significatività dei dati ponderati secondo indici di ricoprimento specifico, dando maggior importanza alla reale fisionomia delle formazioni vegetali.

1.6 Altri metodi di bioindicazione autoecologica

1.6.1 Gli indici di Landolt

Il sistema di bioindicazione tramite organismi vegetali di LANDOLT (1977) ricalca in linea generale quello di Ellenberg (Figura 1.4) ma è limitato alla flora svizzera. Esso trova quindi una buona applicazione per analisi di ambienti alpini e subalpini ed è stato più di una volta utilizzato in indagini svolte nelle regioni settentrionali italiane. Rispetto ad Ellenberg sono descritti 10 indici che variano da 1 a 5:

- **F** = Indice di umidità (*Feuchtezahl*) : esprime il valore medio di umidità del suolo da suoli aridi (1) a suoli inondata (5). A questo indice sono stati aggiunti i seguenti simboli:
 - : piante delle sponde dei corsi d'acqua;
 - **W** : piante di suoli ad umidità variabile;
 - **U** : piante regolarmente sommerse (solo con valore di umidità 5);
 - **V** : piante con organi sommersi e galleggianti (solo con valore di umidità 5);
 - **S** : piante con foglie galleggianti (solo con valore di umidità 5);
 - **I** : piante radicate in acqua con organi emersi (solo con valore di umidità 5).
- **R** = indice di pH (*Reaktionszahl*) : valuta la reazione ionica del suolo e varia da substrati molto acidi (1) a substrati alcalini (5). E' aggiunto l'indice X per piante indifferenti al pH;
- **N** = indice di nitrofilia (*N-zahl*) : si basa sul contenuto di azoto assimilabile (NH₄, NO₃) e varia da suoli molto poveri in azoto (1) a suoli fertilizzati con eccesso di azoto (5). E' aggiunto l'indice X per piante indifferenti al tasso di nitrofilia;
- **H** = indice di humus (*Humuszahl*) : indica la quantità di humus nella rizosfera e varia da suoli poveri (1) a suoli pingui (5). E' aggiunto l'indice X per piante indifferenti alla quantità di humus;
- **D** = indice di granulometria (*Dispersitätszahl*) : prende in considerazione la granulometria del substrato e conseguentemente il suo grado di aerazione. Varia da rocce, scogliere e muri (1) a ghiaie incoerenti (2) a suoli sabbiosi (3), limosi (4), argillosi (5). E' aggiunto l'indice X per piante indifferenti alla granulometria;
- **S** = indice di salinità (*Saltzahl*): ha solo due termini + (piante che possono crescere su suoli salati) e - (piante che evitano suoli salati);
- **L** = indice di luminosità (*Lichtzahl*) : varia da situazioni di piena ombra in sottoboschi chiusi (1) a piena luce in aperta campagna (5);
- **T** = indice di temperatura (*Temperaturzahl*) : descrive un gradiente termico che va dalle specie di clima freddo, delle zone boreali e delle montagne (1) a specie

- di clima caldo mediterraneo (5);
- **K** = indice di continentalità (*Kontinentalitätszahl*) : è basato sulla corologia delle specie indagate variando da specie oceaniche delle coste atlantiche (1) a specie continentali delle zone interne dell'Eurasia (5);
- **W** = Forme biologiche e di crescita (*Wuchs- oder Lebensform*) : P (fanerofite decidue), I (fanerofite sempreverdi), N (nanofanerofite decidue), J (nanofanerofite sempreverdi), Z (camefite legnose), C (camefite erbacee), E (epifite), H (emicriptofite), G (geofite), T (terofite), U (terofite/emicriptofite), A (idrofito).

1.6.2 Indice di emerobia

L'indice di Emerobia per una specie vegetale esprime il suo grado di adattamento al disturbo secondo una scala a dieci termini. KOWARIK (in SUKOPP, HEJNY, KOWARIK 1990) ha introdotto tale indice calcolando la frequenza percentuale della specie nei diversi tipi di ambiente, da quello più naturale a quello più antropizzato. Per analisi sinecologiche si valuta la media ponderata dei singoli indici di una data fitocenosi e si ottiene il *grado di Emerobia dell'associazione* (Figura 1.5). Per una trattazione più approfondita si rimanda al cap. 5.

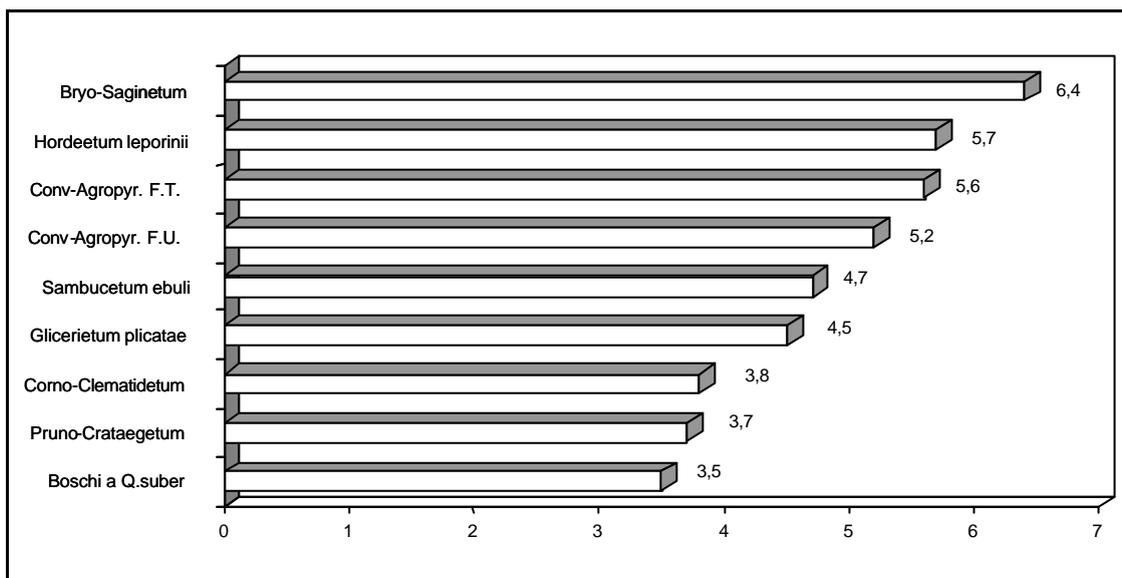


Figura n. 1.5: Grado di Emerobia di alcune associazioni vegetali dell'area romana.

Dal grafico si evidenzia un gradiente di disturbo che va dalle situazioni prossimonaturali dei boschi a *Quercus suber* e delle formazioni arbustive (*Pruno-Crataegetum*, *Corno-Clematidetum*) fino alla vegetazione nitrofila dell'*Hordeetum leporinii* ed a quella fortemente calpestata degli interstizi nella pavimentazione stradale riferibile al *Bryo-Saginetum apetalae*.

1.7 Bioindicazione statistica o sinecologica

La bioindicazione tramite specie singole presenta molti aspetti positivi ma anche qualche limitazione: un bioindicatore può mancare in un'area da monitorare oppure diventa difficile fare comparazioni quando i bioindicatori sono decine o centinaia. In questi casi può essere utile passare a gruppi definiti in maniera astratta in base alle loro caratteristiche ecologiche: ad esempio le specie arboree, oppure le sempreverdi, ecc.

I gruppi possono essere costruiti sulla base dei criteri più diversi, però è essenziale che essi siano definiti a priori in maniera non ambigua, meglio se sulla base di un testo scritto.

L'uso dei gruppi presenta notevoli vantaggi nel caso di elaborazioni statistiche e permette di definire livelli quantitativi con elevata significatività

1.7.1 *Life strategies: categorie CSR di Grime*

Sintetizzando i diversi fattori ecologici che agiscono sulla vita delle piante, GRIME (1979) concentrò l'attenzione su due componenti fondamentali: il disturbo e lo stress. Si hanno condizioni di **disturbo** quando un fattore esterno alla comunità vegetale risulta dannoso per essa così da determinare distruzione della fitomassa (incendio, taglio, disturbo antropico in generale); si parla invece di **stress** nel caso in cui i fattori ambientali portino ad una riduzione della produttività (stress idrico da aridità, stress termico da freddo, ecc). Ambienti che presentino contemporaneamente elevato stress ed elevato disturbo sono inaccessibili ai vegetali, mentre le tre restanti combinazioni (alto disturbo-basso stress, basso disturbo-alto stress, basso disturbo-basso stress) inducono una serie di adattamenti fisiologici, morfologici e demografici correlati che rappresentano le tre strategie vitali descritte da Grime (FANELLI 1995).

Le specie **competitive**, quindi, richiedono abbondanti risorse e sono in grado di sfruttarle meglio delle altre specie sviluppando una serie di adattamenti specifici (es. rapido sviluppo di ampie volte fogliari, esteso apparato radicale). Le **ruderali** invece sono capaci di rigenerare rapidamente tra un episodio

Disturbo	Stress	Categoria Grime	Esempio
Basso	Basso	Competitive (C)	Quercus robur
Basso	Alto	Stress tolleranti (S)	Salicornia veneta
Alto	Basso	Ruderali (R)	Papaver rhoeas

Tabella n. 1.3: Strategie vitali secondo Grime.

distruittivo e l'altro tramite rizomi, abbondanti banche semi, ecc. Infine le **stress tolleranti** sono in grado di sopravvivere anche in condizioni di scarse risorse ambientali, risultando in questo modo altamente efficienti e capaci di colonizzare ambienti preclusi ad altre specie (es deserti, calanchi, terreni salati, ecc.). Accanto alle tre categorie fondamentali possono essere individuati tipi intermedi di life strategies dati da combinazioni di livelli moderati di stress e disturbo (CS, CSR, RS, CR).

Un modo diverso per rappresentare le strategie vitali dei viventi è quello di considerare la loro attitudine alla riproduzione o all'accumulo di biomassa: si individuano in questo modo specie a **strategia r** e specie a **strategia k** (PIANKA 1970). Le prime sono in genere specie di ecosistemi instabili e poveri di specie: esse presentano un ciclo vitale relativamente breve ed hanno un elevato tasso di riproduzione; sono di dimensioni ridotte e quasi esclusivamente annuali. Il rapporto tra sforzo riproduttivo e sforzo di mantenimento è alto. Le specie a strategia k, invece, vegetano in ecosistemi più stabili e complessi, mantenendo il più possibile le dimensioni della popolazione intorno al valore del carico portante dell'habitat. Sono generalmente specie longeve e grandi con tassi di riproduzione poco elevati. Il metodo è stato sviluppato inizialmente per gli animali, ma è di larga applicazione anche per i vegetali.

Come evidenziato in (Figura 1.6), mettendo in relazione categorie CSR e strategie rk (GRIME 1979) si nota che le ruderali seguono un gradiente di disturbo crescente occupando la parte sinistra dell'asse r-k, mentre le stress tolleranti si dispongono nella parte destra indicando una graduale diminuzione delle risorse disponibili. Nella parte centrale si ha la gaussiana delle competitive.

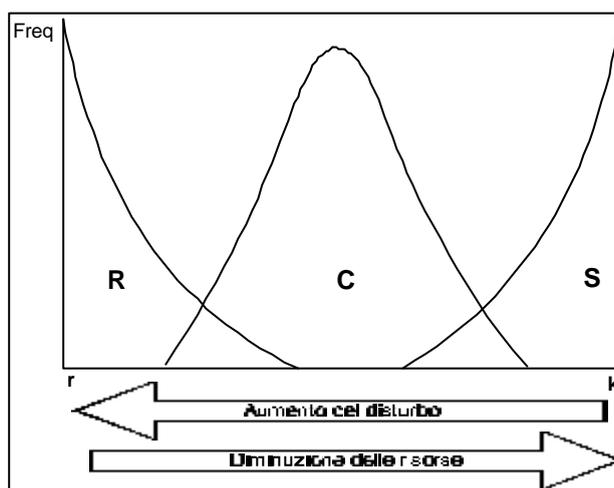


Figura n. 1.6: Frequenza delle categorie CSR sull'asse r-k. (da Grime 1979).

1.7.2 Fuzzy sets

La caratterizzazione ecologica di associazioni vegetali e di singole specie al loro interno tramite l'utilizzo di fuzzy sets in Italia ha suscitato grande interesse dopo il lavoro di ZUCCARELLO et al (1999) per le praterie altomontane di Campo Imperatore. Per fuzzy sets si intendono insiemi sfocati che possono rappresentare per ciascun fattore ecologico considerato un range di valori significativo e comprensivo del grado di imprecisione dovuto alle difficoltà di campionamento. La base di partenza è in ogni caso una serie di dati sperimentali raccolti in campagna ed utilizzati come spazio ecologico di controllo (spazio delle associazioni). Da questi attraverso una sequenza di regole di inferenza si valuta il grado di legame di ogni rilievo con tutti i tipi di vegetazione considerati e si giunge ad una curva di risposta sfocata che descrive il grado di compatibilità di

un'associazione rispetto al parametro ecologico. Il passaggio finale porta a descrivere la valenza ecologica dell'associazione, rappresentandola come intervallo di variazione del parametro. E' possibile anche ottenere una soluzione puntuale, calcolando il baricentro della regione sfocata. Tale operazione può essere applicata anche alle singole specie rispetto alle associazioni (Figura 1.7). Per Campo Imperatore sono stati considerati i seguenti parametri: pH, percentuale di scheletro nel suolo, capacità idrica totale, capacità di scambio cationico, fitomassa epigea, altitudine, inclinazione, irradiazione potenziale annua, indice di irraggiamento.

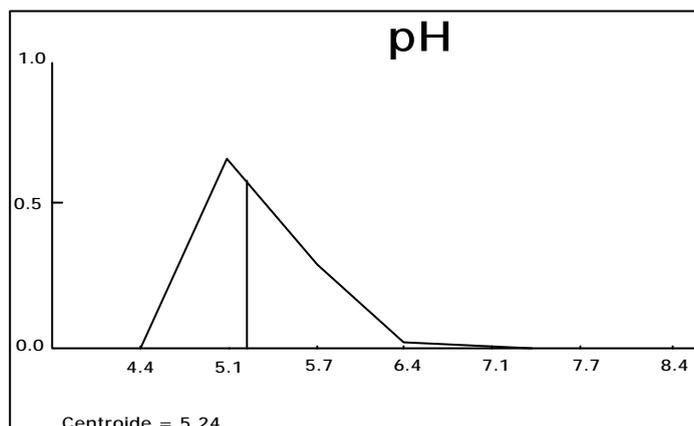


Figura n. 1.7: Curva di risposta ecologica del Poo-Nardetum rispetto al fattore pH (Zuccarello et Al., 1999).

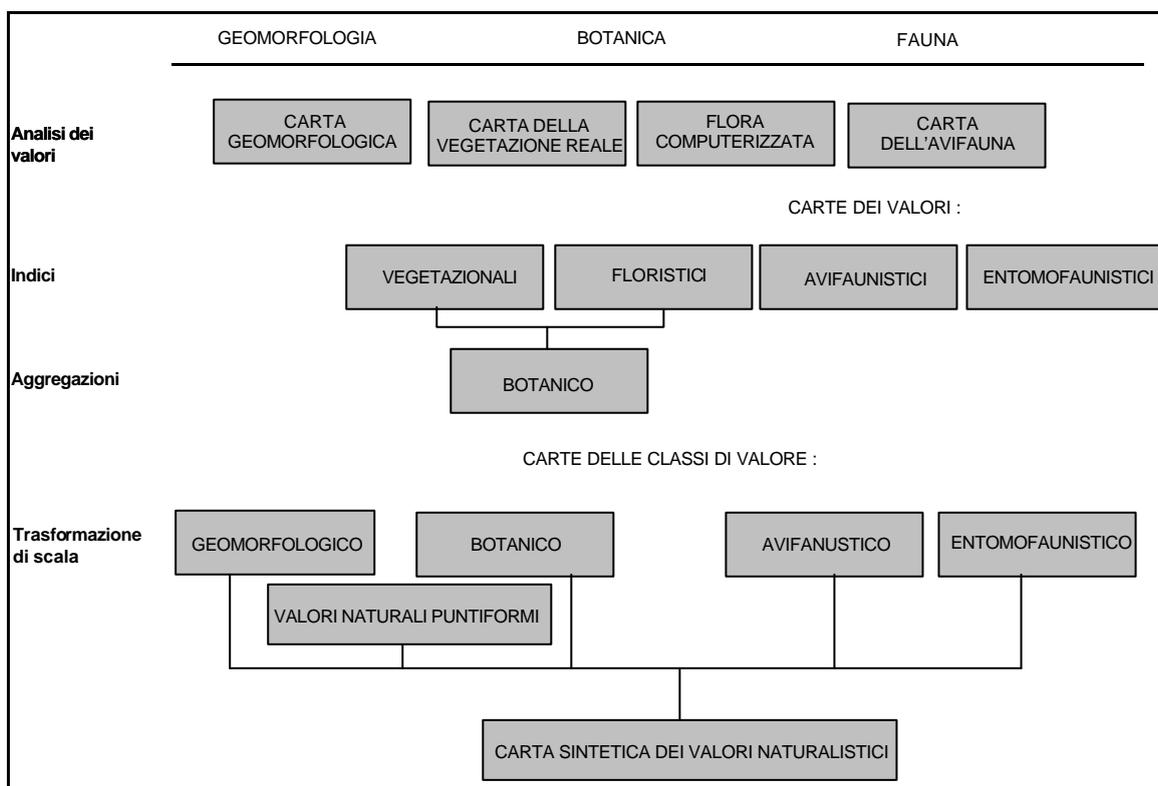


Figura n. 1.8: Schema operativo per la valutazione del valore naturalistico del territorio (da Poldini, 1989).

1.7.3 Integrazione di bioindicatori vegetali con altri

Per analisi del territorio complessive quali valutazioni di impatto ambientale, carte della naturalità, ecc. è necessario spesso integrare informazioni ricevute da diversi indicatori ambientali. Un buon esempio di questa operazione si ha in POLDINI (1989) in riferimento al territorio del Carso triestino ed isontino. Come schematizzato in figura 1.8, sono stati considerati indicatori geomorfologici, botanici e faunistici con criteri di valutazione scientifici e socio-culturali. In particolare per quel che riguarda flora e vegetazione sono stati adottati i seguenti criteri: rarità, naturalità dell'associazione, extrazonalità, mesofitismo, elofitismo, idrofitismo, azonalità, valore fitogeografico dell'associazione, molteplicità floristica, presenza di specie non endemiche al limite dell'areale, livello dell'endemismo, struttura dell'associazione, valore ecologico dell'associazione, ecotipi eccezionali, valori puntiformi, vulnerabilità, valore estetico-paesaggistico. Per i criteri faunistici è stata data grande importanza all'avifauna ed alla carabidofauna. Per la geomorfologia infine sono stati considerati elementi rilevanti del paesaggio carsico.

1.8 Forme biologiche e Corotipi

Per Forma biologica si intende un tipo morfologico che può essere riconosciuto, con variazioni più o meno notevoli ma sempre limitate, in diversi gruppi vegetali, indipendentemente dalla loro posizione tassonomica (PIGNATTI 1995). La necessità di creare specifiche categorie di specie nasce dalle problematiche che si hanno nella comparazione tra flore di diversi ecosistemi o di diverse regioni geografiche: l'informazione che deriva dal semplice confronto floristico non è sufficiente e porta generalmente ad una totale divergenza. In altre parole se paragoniamo le liste floristiche del litorale romano e del Gran Sasso, o quelle del Lazio e della California avremo solamente un esiguo numero di specie in comune. L'utilizzo di gruppi basati su caratteri morfologici, che riflettono, secondo un approccio deterministico, l'adattamento ecologico ai fattori ambientali, supera questo ostacolo. Il concetto di forma biologica ha radici antiche: ALEXANDER VON HUMBOLDT (1806), GRIESEBACH (1872), DRUDE (1888), WARMING (1895) furono i primi ad introdurre l'idea ma la prima generalizzazione che portò ad un sistema largamente conosciuto ed applicato ancora oggi si deve al fitogeografo danese RAUNKIAER (1907, 1934).

Esso raggruppa le specie in sei forme biologiche: terofite, geofite, idrofite, emicriptofite, camefite e fanerofite. Il carattere morfologico sul quale si basa questo sistema è la posizione delle gemme nella pianta ed il modo in cui queste vengono protette, considerando la loro importanza per la ripresa vegetativa. Al primo gruppo appartengono le piante annuali, che rispondono agli stress ambientali eliminando lo stadio di gemma e producendo, invece, semi resistenti. Le specie idrofite sviluppano gemme subacquee. Le geofite e le emicriptofite sono costituite da erbe perenni che nel primo caso possiedono speciali organi ipogei (rizomi o bulbi), mentre nel secondo, gemme che si trovano a livello del suolo e sono protette da foglie. Le specie camefite sono rappresentate da cespugli nani che possiedono gemme a poca distanza dal suolo (circa 30 cm) circondate da rami e foglie.

L'ultimo gruppo, quello delle fanerofite, comprende le specie arboree, cespugliose e le liane; si tratta di piante con gemme localizzate su alti fusti, avvolte da foglie trasformate dette perule.

Le sei categorie fondamentali (T, G, H, Ch, P, I) sono suddivise in sottotipi: lo schema riportato in tabella 4.3 mostra le forme biologiche adottate in Flora d'Italia (cfr. Figure 4.2 e 4.3) dove sono integrate due categorie minori (He, NP).

Calcolando la frequenza percentuale delle forme biologiche su un qualsiasi set di dati floristici si ottiene il suo **spettro biologico**: Raunkiaer quantificò, sulla base di un campione casuale della flora mondiale, il cosiddetto spettro normale cioè la frequenza media delle forme biologiche nel pianeta. Descrivendo una sorta di modello ecologico-climatico si può evidenziare la prevalenza delle fanerofite nella fascia intertropicale, delle terofite nella fascia arida, delle emicriptofite nelle zone temperate e delle camefite in quelle fredde. In particolare per l'Italia è evidente il passaggio dalla fascia arida subtropicale a quella umida temperata come dimostrato dall'elevata percentuale di terofite in Sicilia, Puglia e sud del paese contrastata da alti valori di emicriptofite in pianura Padana, Alpi e Appennino. Tuttavia il sistema di RAUNKIAER presenta limiti ben evidenti dovuti alla parzialità del carattere fondamentale; inoltre esso non dà risultati soddisfacenti per le flore tropicali trovando la sua massima espressione solamente alle nostre latitudini.

Molti autori hanno tentato di integrare, modificare o cambiare totalmente lo schema proposto da Raunkiaer (ELLENBERG et MUELLER-DOMBOIS 1967, SCHMITHÜSEN 1968, VARESCHI 1968). Tra le proposte più interessanti citiamo quella di BOX (1981, 1987) che propone una correlazione tra clima regionale e organismi vegetali arrivando alla descrizione di ben 77 forme biologiche (*ecophysiognomic plant types*) corrispondenti a caratteristiche morfologiche ed ecofisiologiche. Sulla base di un modello di controllo (1200 località sulla superficie della terra) il sistema di Box è potenzialmente in grado di predire il tipo di vegetazione di una data località quando ne siano noti i parametri climatici.

Ogni specie vegetale ha un suo areale di distribuzione che riflette l'area all'interno della quale essa vive spontaneamente ed è determinato da fattori ecologici e storici. E' possibile individuare gruppi di areali simili che con la loro ripetitività assumono un significato statistico: questi sono i **corotipi** o tipi corologici. I sistemi presenti in letteratura fitogeografica sono spesso leggermente differenti e riportano a volte nomenclature diverse, in ogni caso generalmente il nome del corotipo considerato riflette quello della regione geografica corrispondente. Per l'Italia si hanno 10 tipi corologici principali:

- **Endemiche** specie ad areale ristretto e ben delimitato.
- **Stenomediterranee** specie ad areale mediterraneo con distribuzione costiera o in zone a clima simile (area dell'olivo).
- **Eurimediterranee** specie ad areale mediterraneo in senso lato con possibilità di presenza anche in zone calde del centro Europa (area della vite).

- **Mediterraneo-montane** specie delle montagne mediterranee.
- **Eurasiatiche** specie continentali con areale a baricentro medioeuropeo ma con possibili estensioni in Siberia ed estremo oriente ed in zone submediterranee.
- **Atlantiche** specie ad areale occidentale di bioclima umido oceanico.
- **Orofite sud-europee** specie delle alte montagne sud europee.
- **Circumboreali** specie ad areale diffuso nella zona temperata e fredda dei tre continenti.
- **Artico-Alpine** specie ad areale artico con diffusione anche sulle maggiori catene montuose della fascia temperata.
- **Cosmopolite** specie multizonali ad ampia distribuzione su tutti i continenti o quasi.

Come per le forme biologiche è possibile calcolare uno spettro corologico o corogramma sulla base delle frequenze percentuali dei corotipi da una qualsiasi flora. Per l'Italia (PIGNATTI 1994) sono stati calcolati i corogrammi delle singole regioni (cfr. Tabella 4.4 e Figure 4.4 e 4.5) al fine di evidenziare eventuali gradienti ecologici. La distribuzione geografica dei corotipi italiani segue in linea di massima fattori climatici e altitudinali e presenta risultati abbastanza prevedibili: prevalenza di *stenomediterranee* al sud e di *eurasiatiche* al centro-nord con spiccata tendenza delle *atlantiche* per le regioni tirreniche.

Forma biologica	Strategia	Sigla	Sottotipo
Terofite	Eliminazione delle gemme: piante annuali con superamento della stagione avversa sotto forma di seme	T	
		T caesp	T. cespitose
		T rept	T. reptanti
		T scap	T. scapose
		T ros	T. rosulate
		T par	T. parassite
Geofite	Erbe perenni con gemme sotterranee portate da bulbi, tuberi o rizomi	G	
		G rad	G. radicegemmate
		G bulb	G. bulbose
		G rhiz	G. rizomatose
		G par	G. parassite
Emicriptofite	Erbe bienni o perenni con gemme a livello del suolo protette da foglie	H	
		H caesp	E. cespitose
		H rept	E. reptanti
		H scap	E. scapose
		H ros	E. rosulate
		H bienn	E. bienni
		H scand	E. scandenti

Camefite	Piccoli arbusti e suffrutici con gemme a breve distanza dal suolo (< 30 cm)	Ch	
		Ch suffr	C. suffruticose
		Ch scap	C. scapose
		Ch succ	C. succulente
		Ch rept	C. reptanti
		Ch pulv	C. pulvinate
		Ch frut	C. fruticose
Fanerofite	Alberi, grandi arbusti, liane con gemme su fusti elevati (> 30 cm) esposte all'aria	P	
		P caesp	F. cespugliose
		P scap	F. arboree
		P lian	F. lianose
		P succ	F. succulente
		P ep	F. epifite
		P rept	F. striscianti
Nanofanerofite	Arbusti minori	NP	
Idrofite	Piante acquatiche totalmente o in parte immerse con gemme subacquee	I	
		I rad	I. radicanti
		I nat	I. natanti
Elofite	Piante radicanti in acqua ma emerse nella parte epigea	He	

Tabella n. 1.4: Le forme biologiche.

2. LIVELLI DI ANALISI

2.1 Tre livelli di indagine

Il componente vegetale va analizzato a tre livelli (Figura 2.1):

- Flora: l'insieme delle specie presenti in un dato territorio. Ogni specie è considerata distintamente rispetto alle altre;
- Vegetazione: per ogni specie viene misurata la quantità di materia organica presente: si ottiene così un'informazione quantitativa sui singoli componenti della copertura vegetale, che permette di definire il tipo di vegetazione (associazioni vegetali o comunità);
- Complessi di vegetazione: vengono costituiti da più associazioni che si presentano regolarmente in stretta relazione topografica (catenale) oppure di successione (seriale), e permettono di definire unità di territorio (biotopi).

2.2 Flora, Vegetazione e Complesso di vegetazione

La flora viene definita come un raggruppamento di specie vegetali in un determinato territorio.

Lo studio della flora è solo di tipo qualitativo; esso è finalizzato all'osservazione ed individuazione delle specie presenti in un sito. A questo tipo di analisi se ne può affiancare una di tipo quantitativo: la fitomassa. Quest'ultima rappresenta la massa vegetale totale presente in un ecosistema, rilevata attraverso misure metriche e soprattutto ponderali.

Un'analisi solo di tipo floristico, così come una basata soltanto sulla fitomassa, non è però sufficiente a caratterizzare l'interazione tra popolazione vegetale ed ambiente circostante. A questo scopo si ricorre al concetto di vegetazione. Esso corrisponde ad un livello di maggiore approfondimento che mira a superare il concetto di singola specie ed a concentrarsi sulle relazioni all'interno di un gruppo di specie vegetali coerenti con il proprio ecosistema. La tendenza delle specie ad unirsi in gruppi dipende dagli adattamenti biologici per la propagazione vegetativa e la riproduzione.

Le diverse strategie riproduttive adottate vengono influenzate da fattori ambientali. Per quanto riguarda i fattori climatici, le piante non sopportano valori estremi di temperatura e umidità quindi, nella stagione avversa ottimizzano la loro energia nella conservazione delle gemme (che, altrimenti, potrebbero essere danneggiate irreversibilmente). Per consentire alle gemme di sopravvivere a queste condizioni di stress, le piante utilizzano varie strategie, su cui si basa il metodo di classificazione floristica di RAUNKIAER (vedi Cap. 1).

Globalmente, la maggior parte delle specie presenti sono fanerofite, di cui un'alta percentuale si trova nella flora equatoriale, che possiede la maggiore ricchezza floristica

mondiale. In Italia, le specie dominanti sono le erbacee; tra queste le più frequenti sono le annuali, seguite dalle perenni emicriptofite. La distribuzione geografica delle forme biologiche è legata principalmente al fattore climatico. In Italia, a causa dell'eterogenità climatica, si ha una maggiore diffusione delle emicriptofite al Nord e delle terofite al Sud. La densità massima di emicriptofite si riscontra sulle catene più elevate delle Alpi, per poi assestarsi intorno ai valori medi nazionali nella Padania, fino a scendere al di sotto della media nelle zone comprese tra gli Euganei e il Garda (dove il clima è più mite).

Per quanto riguarda le terofite, sono stati rilevati valori medi di densità opposti a quelli delle emicriptofite; infatti, si registrano massimi di densità in Sicilia, Sardegna e Puglia e minimi al Nord.

Le geofite sono più abbondanti nelle zone montane e collinari, dalle Alpi sud-occidentali all' Appennino settentrionale e centrale. La distribuzione delle geofite è legata, più che ad un fattore climatico, alla presenza di boschi misti caducifogli e faggete.

Altri fattori ambientali limitanti sono quelli che causano un disturbo nella comunità vegetale, tanto da produrre la distruzione della fitomassa. Un esempio può essere rappresentato sia dall'uomo, nel caso della falciatura di un prato sia da animali, a causa del pascolo, oppure da fattori fisico-chimici quali gelate primaverili o alcuni tipi di inquinamento.

Un altro fattore è rappresentato dalla competizione, la quale all'interno di una fitocenosi può causare interazioni tali da produrre una selezione specifica; essa si presenta quando più specie sono costrette a sfruttare le medesime risorse materiali o energetiche oppure sono vincolate ad uno spazio comune troppo limitante. Un esempio di competizione è quello relativo ad una quercia che produce migliaia di ghiande, da cui germineranno altrettante plantule che dovranno competere per acqua, nutrienti, ecc., alla fine solo una o poche riusciranno a sopravvivere; un altro esempio riguarda il rovere (*Quercus petraea*) e la roverella (*Quercus pubescens*) che competono per lo stesso territorio, e che riescono a coesistere avendo esigenze ecologiche differenti (la prima è maggiormente competitiva sui suoli subacidi, l'altra su quelli calcarei).

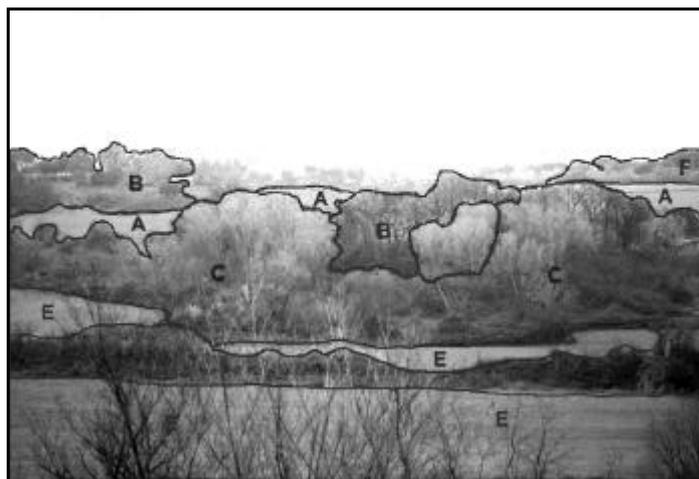


Figura n. 2.1a: Esempio di interpretazione di un paesaggio vegetale distinguendo i tre livelli di indagine (Roma, Parco dell'Appia Antica, valle della Caffarella).

La percezione della flora permette di definire una serie di elenchi di specie, che variano da luogo a luogo (si confrontino le figure 2.1b e 4.16).

A	B	C	D	E	F
<i>Anthemis arvensis</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Salix alba</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Triticum aestivum</i>	<i>Pinus pinea</i>
<i>Vulpia ligustica</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>	<i>Populus canadensis</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Avena sterilis</i>	<i>Piptatherum miliaceum</i>
<i>Trifolium nigriscens</i>	<i>Celtis australis</i>	<i>Rubus caesius</i>	<i>Ulmus minor</i>	<i>Phalaris brachystachys</i>	
<i>Trifolium fragiferum</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Populus alba</i>	<i>Euonymus europaeus</i>	<i>Chrysanthemum segetum</i>	
<i>Ornithopus compressus</i>					
<i>Avena sterilis</i>					

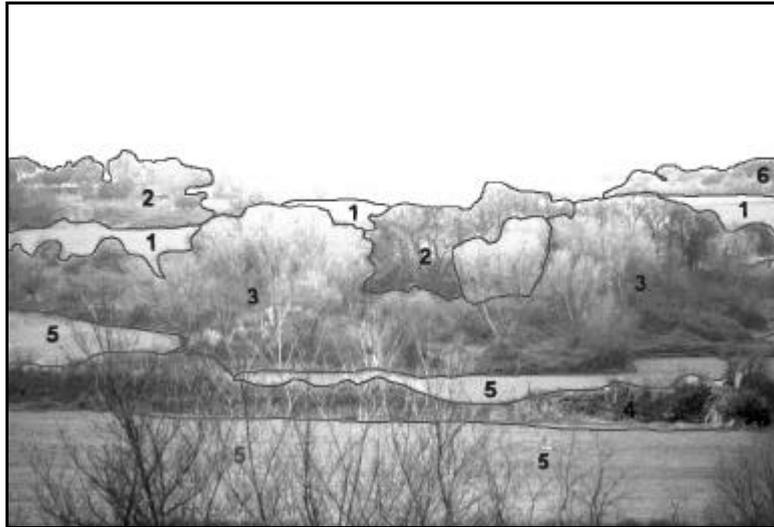


Figura n. 2.1b: Esempio di interpretazione di un paesaggio vegetale distinguendo i tre livelli di indagine (Roma, Parco dell'Appia Antica, valle della Caffarella).

La percezione della vegetazione permette di definire le associazioni vegetali naturali o seminaturali (indicate dai numeri 1, 2, 3 e 4) e due artificiali (numeri 5 e 6).

1	2	3	4	5	6
<i>Brometalia ruberti tectori</i>	<i>Orno-Quercetum ilicis</i>	<i>Populetum albae</i>	<i>Pruno-Crataegetum</i>	<i>Secalinion</i>	<i>Pineta</i>

Il processo di crescita delle comunità vegetali si svolge lungo un arco temporale di molti anni; in condizioni naturali, la vegetazione tende a insediarsi in un determinato territorio, fino a raggiungere le dimensioni-limite caratteristiche, le quali quando sono inferiori rispetto allo spazio disponibile, inducono la comparsa di specie competitive di dimensioni maggiori.

La dinamica di sviluppo di un ecosistema, attraverso variazioni temporali della sua struttura, viene definita come successione ecologica.

Lo sviluppo di una successione dipende da modificazioni, legate a fattori biologici interni (la nascita o morte degli individui, la produzione di materia organica ecc.) e soprattutto, a fattori esterni (variazioni ambientali, antropizzazione, fuoco ecc.).

Si definisce successione fitogena quella regolata da co-azioni interne e successione allogena, invece, quella regolata da variazioni provocate da forze esterne.

Le successioni vengono analizzate attraverso l'osservazione di quadrati permanenti. Tale metodo consiste nel determinare un dato sito e nell'effettuare il rilevamento della vegetazione presente. Negli anni successivi si esegue il rilievo sulla stessa superficie, così da poter individuare le eventuali variazioni della vegetazione. In ogni successione si succedono con regolarità molte associazioni vegetali che formano una serie. Le associazioni che colonizzano per prime un ambiente sono dette associazioni pioniere; lo stadio di sviluppo finale è definito come climax.

L'analisi di una successione si può effettuare soltanto su substrati stabili e databili. Nei casi in cui vengono a mancare queste due componenti, si riescono, tuttavia, ad ottenere alcune informazioni per individuare la serie di vegetazione; in questo caso si descrive la zonazione, i cui singoli elementi si definiscono come cinture.

Per descrivere la dinamica di progressione della serie di vegetazione si utilizza la curva di accrescimento sigmoide definita dall'equazione logistica (Figura 2.2). Nella curva sigmoide, in un primo tempo, la popolazione aumenta lentamente e poi più rapidamente; in un secondo tempo, essa torna a crescere in modo più limitato, fino a raggiungere una condizione di equilibrio più o meno stabile. L'accrescimento massimo di una popolazione vegetale è limitato dalla mancanza di risorse o di spazio. La curva logistica descrive solo in parte la serie di vegetazione; essa, infatti, non considera alcuni elementi del sistema come l'omeostasi (la capacità del sistema di mantenere l'equilibrio in risposta a stimoli esterni, attraverso meccanismi di retroazione o feedback) oppure la resilienza (la capacità della vegetazione di ritornare nello stato iniziale, in seguito a modificazioni dell'ecosistema da parte di forze esterne).

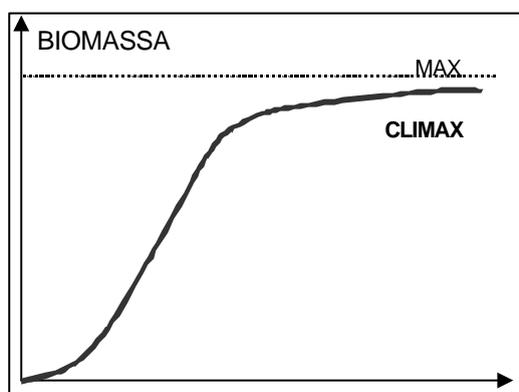


Figura n. 2.2: Idealizzazione dello sviluppo della vegetazione dalle fasi pioniere al climax.

La progressione della serie, quindi, non è continua e la curva relativa potrebbe essere rappresentata a scaletta e sarebbe difficilmente definibile da formule matematiche.

Si possono trarre interessanti informazioni sulla dinamica delle successioni con lo studio della vegetazione delle dune marittime.

In Italia i sistemi di dune sono ben evidenziati lungo le coste dell'Alto Adriatico, da Monfalcone a Ravenna, a Nord del Gargano, sulle coste del Lazio, dal Circeo alla foce del Tevere, nel Golfo di Sassari e sulle coste siciliane; in generale, per questi sistemi viene descritta un tipo di serie con qualche differenza tra le coste mediterranee e quelle dell'Alto Adriatico, a clima medioeuropeo (Tabella 2.1).

Coste mediterranee	Alto Adriatico
<i>Salsolo-Euphorbietum</i>	<i>Cakiletum</i>
∅	∅
<i>Agropyretum</i>	<i>Agropyretum</i>
∅	∅
<i>Ammophiletum</i>	<i>Ammophiletum</i>
∅	∅
<i>Crucianelletum</i>	<i>Tortulo-Scabiosetum</i>
∅	∅
<i>Quercion ilicis</i>	<i>(Orno-Quercetum ilicis)</i>
	∅
	<i>Querco-Carpinetum</i>

Tabella n. 2.1: Dinamica delle successioni della vegetazione delle dune marittime sulle coste mediterranee e dell'alto adriatico.

L'ambiente litorale è in perenne dinamismo, in quanto il vento provoca l'erosione della sabbia in alcuni punti, e l'accumulo in altri (Figura 2.3). Inoltre eventi esterni (come la costruzione di un molo) possono causare la deposizione di nuova sabbia ed il conseguente avanzamento della linea di costa, mentre in altri punti la costa arretra.

Nei lidi veneti è stato possibile approfondire lo studio sulle successioni. Negli stadi pionieri si ha la comparsa di un massimo di terofite e la massima devianza dei corotipi rispetto alla media; negli stadi più avanzati entrambi questi valori si abbassano, fino alla scomparsa quasi totale delle terofite. Per quanto riguarda il substrato, la concentrazione di calcare nella sabbia risulta già elevata negli stadi pionieri, ma aumenta nelle dune, a causa dell'effetto selettivo operato dal vento sulle particelle di calcare, più leggere rispetto alle altre. In seguito il calcare diminuisce per effetto del dilavamento e dell'accumulo di materia organica (Figura 2.4).

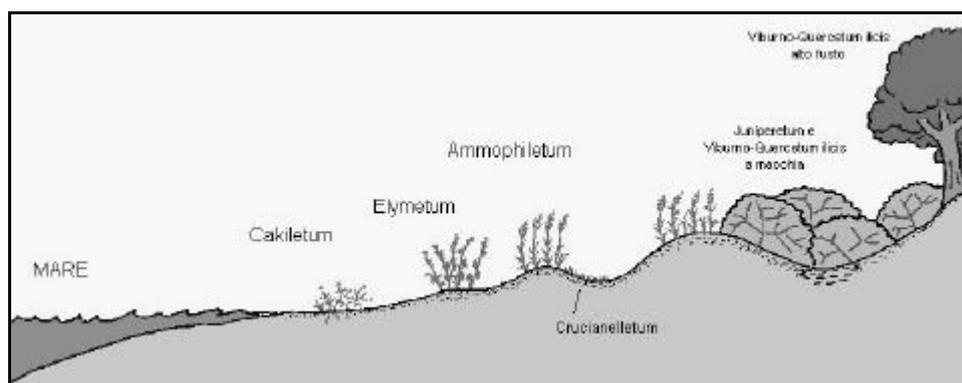


Figura n. 2.3: Esempio di serie lungo l' ambiente litorale (tratto da Bianco, Pignatti, Tescarollo "La Vegetazione della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma)" – In pubbl.).

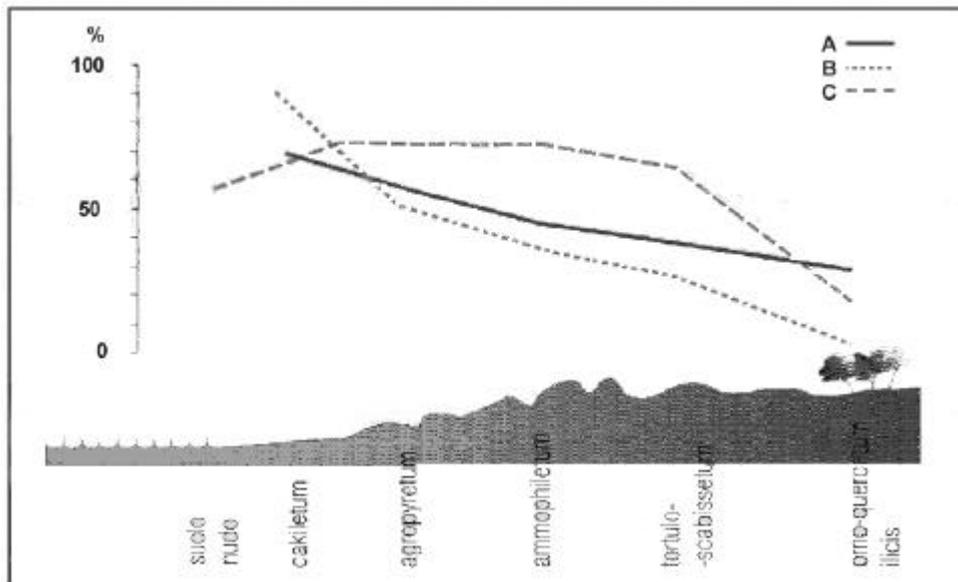


Figura n. 2.4: Modificazioni di caratteri biologici e pedologici lungo la serie litorale delle dune veneziane.

Linea A: deviazione rispetto alla composizione media dei corotipi

Linea B: diminuzione della percentuale delle terofite

Linea C: variazione nel contenuto di calcare nella sabbia

(da Pignatti S., "Ecologia Vegetale"- 1995- UTET).

Un ambiente ecologicamente e corologicamente definito dà luogo ad una fitocenosi altrettanto definita nella sua composizione floristica e nella sua struttura.

L'associazione vegetale è un'unità bio-ecologica caratterizzata da comunità vegetali climax legate ad un determinato ecotopo nell'ambito di un territorio geograficamente delimitato.

Ogni unità è definita da specie caratteristiche, che non compaiono che accidentalmente in altre unità e da specie differenziali, che caratterizzano un'associazione rispetto ad un'altra, ma possono trovarsi anche in altri tipi vegetazionali. La fitosociologia studia l'associazione e le sue interazioni; per quanto essa sia considerata un'analisi di tipo floristico, finisce per diventare una vera e propria ricerca ecologica. Secondo la definizione di BRAUN-BLANQUET (1928), l'associazione è un raggruppamento vegetale, più o meno stabile ed in equilibrio con il mezzo ambiente, caratterizzato da una composizione floristica determinata, in cui certi elementi, quasi esclusivi, rivelano con la loro presenza un'ecologia particolare ed autonoma.

Lo studio delle associazioni vegetali si avvale del metodo di BRAUN-BLANQUET. Si tratta di un metodo floristico-statistico che si basa su due elementi: la lista di specie e la copertura di ciascuna di esse. Lo strumento con il quale si effettua un'analisi della vegetazione è il rilievo fitosociologico (Figura 2.5). Quest'ultimo consiste nel campionamento di specie presenti in un sito e nella stima a occhio della copertura delle singole specie. In alcuni casi, nel rilievo floristico viene eseguita una stima a occhio anche degli strati di cui si compone la vegetazione: arboreo (piante con fusto senza o

con pochi rami e di altezza superiore ai 10 m.), arbustivo (piante legnose ramificate e di altezza non superiore ai 5 (10) m.) e erbaceo (piante erbacee perenni o annuali).

Il rilievo ha il vantaggio di essere un metodo rapido, che permette una facile comparazione della vegetazione presente in più zone; lo scopo di tale confronto è quello di valutare le eventuali variabilità floristiche legate a specifici fattori ecologici.

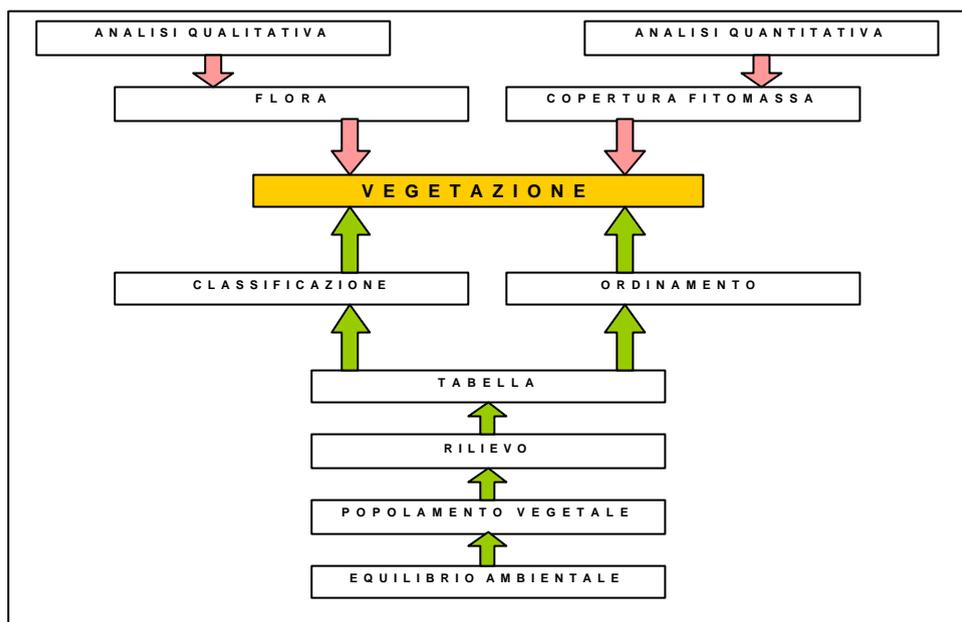


Figura n. 2.5: Schema di analisi quali-quantitativa.

I dati campionati con il rilievo fitosociologico vengono, poi, gestiti attraverso un elaboratore e uno specifico software (in genere, si utilizza un foglio elettronico), con il quale si può realizzare una tabella fitosociologica (Tabella 2.2). Quest'ultima è strutturata in modo tale da comprendere generalmente nella prima colonna l'elenco di specie e nelle successive, le coperture corrispondenti ad ogni singola specie e riferite ad un sito.

Inoltre, la tabella può contenere altre informazioni: alcune servono a descrivere meglio la vegetazione come la stratificazione, altre maggiormente il territorio come l'altitudine, l'inclinazione, la superficie ecc.

Le associazioni di uno stesso tipo vegetazionale possono essere raggruppate in un'unità maggiori, quando vengono influenzate da fattori ecologici simili.

In ordine gerarchico, l'associazione è l'unità vegetazionale minore ed è seguita da alleanza, ordine e classe. La sintassonomia è la disciplina che si occupa di classificare le specie in base alla loro appartenenza alle diverse unità fitosociologiche (syntaxon). Un'analisi sintassonomica comporta un lavoro di raccolta e coordinamento di rilievi fitosociologici. In seguito, si procede calcolando la percentuale di presenza delle specie di ogni singola tabella fitosociologica. La frequenza delle specie è data dal rapporto tra le presenze di ogni specie nei vari rilievi sul totale dei rilievi stessi. Quindi, s'

inseriranno i dati ottenuti nell'elaboratore, al fine di creare una tabella sinottica (Tabella 2.3). Essa è costituita da un elenco di specie e dall'indicazione per ognuna di esse di una percentuale di presenza relativa alle tabelle considerate.

Una stessa specie può essere presente in più rilievi; si evince, pertanto, che in base al grado di presenza possono essere individuati vari gruppi. Quest'ultimi vengono, poi, classificati secondo un criterio sintassonomico ricavato dalle informazioni contenute nella banca dati della flora italiana.

Sul territorio, le singole associazioni non si sviluppano in modo indipendente l'una dall'altra, tendono, invece, a legarsi secondo due criteri: uno di tipo spaziale, quindi connesso con il territorio e con le nicchie ecologiche presenti; l'altro, di tipo temporale, legato alle successioni.

Il complesso di vegetazione è una nuova unità vegetazionale che tiene insieme più tipi vegetazionali, caratterizzati da legami di contiguità o successione (Figura 2.6).

Viburno-Quercetum ilicis alto fusto e a macchia alta																									
					1	1					1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
N° rilievo in database	1		5	5	1	1	1	9	1	9	1	2	3	3	6	4	4			4	9				
Progressive number	3	2	5	4	4	3	1	0	5	4	6	6	7	1	2	1	0	8	7	6	3	5	5		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
Sp. car. Viburno-Quercetum ilicis, Quercion ilicis																									
																									FREQ.
Quercus ilex	4	5	5	5	5	5	4	4	1	4	4	3	4	4	2	4	4	3	4	4	3	2			V
Phillyrea latifolia	2	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	1	1	+	1	2	+	2	1	2	1	+			V
Ruscus aculeatus	1	2	1	+	+	+	+	+	+	1	2	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V
Carex distachya	+	+	1	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	IV
Pistacia lentiscus	+	+	1	+	+	1	+	+	1	1	+	+	1	+	1	1	+	+	+	1	+	+	1		IV
Cyclamen repandum	+	+	2	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+		IV
Erica arborea	+	+	+	+	+	+	2	3	+	+	1	2	2	3	1	+	+	+	+	+	+	+	+		II
Asplenium onopteris	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+			I
Viburnum tinus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		I
Arbutus unedo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		I
Sp. car. Quercetalia, Quercetea ilicis																									
Smilax aspera	1	2	1	1	1	+	+	1	+	2	1	1	1	+	+	1	+	+	+	1	+	+			V
Rubia peregrina	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		II
Myrtus communis	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			II
Juniperus oxycedrus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			II
Rhamnus alaternus	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Clematis flammula	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Juniperus phoenicea	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Quercus suber	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Sp. compagne																									
Hedera helix	+	1	+	2	+	+	+	1	+	3	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1		IV
Brachypodium sylvaticum	+	+	1	1	1	1	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	2	+	2	+			IV	
Rubus ulmifolius	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			III
Asparagus acutifolius	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			III
Tamus communis	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			III
Oryzopsis miliacea	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+			II
Centaurea monogyna	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+			II
Clematis vitalba	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			II
Moehringia pentandra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+			II
Carex flacca	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Cistus salvifolius	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Geranium purpureum	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Calamintha Nepeta	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Briza maxima	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Cynosurus echinatus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Carex divisa	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Moehringia pentandra	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+			I
Urtica membranacea	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Ligustrum vulgare	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I
Lagurus ovatus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			I

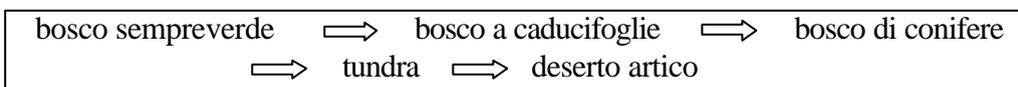
Tabella n. 2.2: Esempio di tabella fitosociologica relativa all'associazione Viburno-Quercetum ilicis sul litorale di Roma (da Pignatti, Bianco, Scaroscia, Tescarollo, in pubbl.).

n. progressivo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n. dei rilievi in tab.	9	25	15	9	20	7	11	11	9	33
Sp. caract. d. associazione										
<i>Juniperus macrocarpa</i>	100	100								
<i>Juniperus phoenicea</i>	88	16	7							
<i>Quercus ilex</i>	55		94	100	100	100	100	82		17
<i>Pistacia lentiscus</i>	100	48	87	86	32	42				
<i>Arbutus unedo</i>	44		60	55	95	14				
<i>Asplenium onopteris</i>			13	44	85	56	40			
<i>Daphne sericea</i>				55						
<i>Fraxinus ornus</i>			7		65	100	91	91	33	27
<i>Ostrya carpinifolia</i>						42	27	100		
<i>Pistacia terebinthus</i>							100	18		
<i>Quercus suber</i>			20		55				100	100
<i>Cytisus villosus</i>					50				100	53
<i>Stachys officinalis</i>					25				88	87
<i>Teucrium scorodonia siculum</i>										
Sp. caract. del <i>Quercion ilicis</i>										
<i>Ruscus aculeatus</i>	22		87		20	56	45		22	40
<i>Erica arborea</i>	22		66	88	80	28			77	70
<i>Oxyris alba</i>	22		7			14			77	40
<i>Teucrium chamaedrys</i>	11						27	18	55	27
<i>Phillyrea latifolia</i>	66		94	100	45	71	91			
<i>Cyclamen repandum</i>			66		85	100		18		47
<i>Carex distachya</i>	22		53	33		42	9			
<i>Viburnum tinus</i>	11		40	55	20	42				13
<i>Pulicaria odora</i>	11		7	88		14				
<i>Carex halleriana</i>			13			14		18		
<i>Asparagus maritimus</i>			33		35	42				
<i>Pinus halepensis</i>	11		7							
<i>Euphorbia characias</i>							66			
<i>Juniperus oxycedrus</i>			20							
<i>Pinus pinaster</i>	11	12								
<i>Galium rotundifolium</i>										3

Tabella n. 2.3: Esempio di tabella sinottica con presenze delle associazioni di Quercetea ilicis del Lazio (da Pignatti S. -“Ecologia Vegetale” – 1995 - UTET).

2.3 Relazioni geografiche e bioclimate

L'aspetto e la struttura delle comunità sono strettamente dipendenti dalle condizioni climatiche, basti pensare alla sequenza:



che può osservare un viaggiatore che attraversi l'Europa da sud verso nord o salendo dalla Pianura Padana alla cima delle Alpi. Le variazioni climatiche latitudinali e altimetriche si accompagnano a modificazioni nella struttura, nel funzionamento e nella produttività degli ecosistemi.

Con il termine *bioma* si indicano vaste aree geografiche continentali e intercontinentali con ben definite caratteristiche macrolimatiche e formazioni vegetali morfologicamente

simili, ma anche molto differenti a livello di composizione specifica. La caratterizzazione in zone biogeografiche prevede in modo più selettivo la presenza di specie animali e vegetali in comune. A uno stesso bioma caratterizzato da un ben identificabile macroclima e determinate caratteristiche strutturali e paesaggistiche, come possono essere il deserto, la savana o la foresta temperata di caducifoglie, possono corrispondere più zone biogeografiche. Le specie caratteristiche di una data zona biogeografica vengono definite *zonali*.

Ad esempio il bioma mediterraneo, pur presentando formazioni vegetali con struttura simile e conseguentemente habitat analoghi in California, Sud Africa e Mediterraneo, si differenzia notevolmente quanto a composizione floristica e faunistica e, sulle coste Mediterranee, è al suo interno ulteriormente differenziabile in base alla durata dell'aridità estiva e alle temperature medie in sottotipi con proprie specie e associazioni caratteristiche.

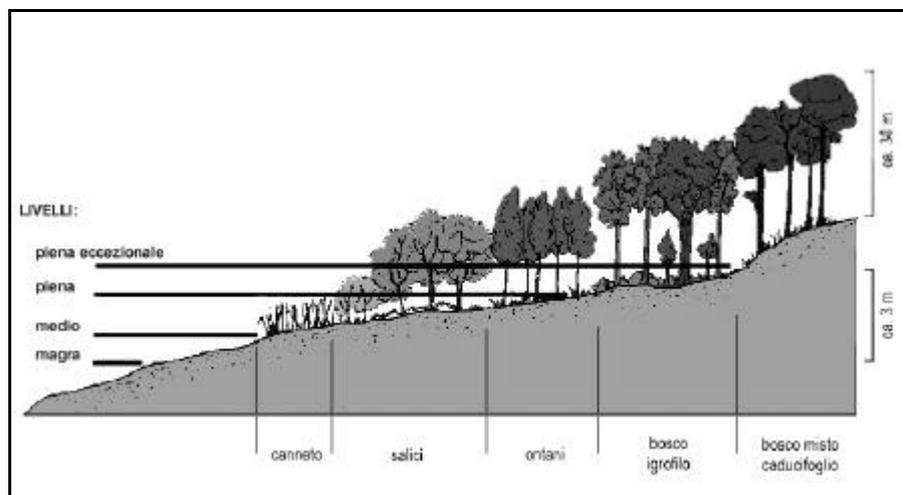


Figura n. 2.6: Esempio di complesso di vegetazione osservato sulla riva di un corso d'acqua; la dinamica di seriazione dipende dai livelli di piena e di magra (da Ellenberg, 1978 modif.).

La classificazione di WALTER E LIETH (1967-75), basata su migliaia di dati e climogrammi per tutti i paesi del globo, divide la terra in 9 zone: I equatoriale, II tropicale, III subtropicale arida, IV zona di transizione, V temperato calda, VI temperata, VII arido-temperata continentale, VIII temperato fredda o boreale e IX polare artica. Riferisce l'Italia alla zona di transizione per quanto riguarda la penisola e alla zona temperata per il resto. RIVAS-MARTINEZ (1996) nella sua classificazione bioclimatica della Terra ha proposto cinque macroregioni bioclimatiche (tropicale, mediterranea, temperata, boreale e polare) ciascuna delle quali articolata in diversi bioclimi caratterizzati da proprie formazioni vegetali e biocenosi. Nella carta bioclimatica d'Europa (scala 1:10.000.000) di RIVAS-MARTINEZ (1996) vengono distinte le macroregioni mediterranea, temperata, boreale e polare a loro volta divise in 28 bioclimi.

Per quanto riguarda le piante a livello geografico vengono distinte unità territoriali appartenenti ai differenti bioclimi definite come "zone di vegetazione" o "zone

fitogeografiche” caratterizzate da proprie specie e associazioni vegetali zonali. Le specie vegetali e le formazioni a cui danno luogo, proprio per il legame particolarmente stretto con le condizioni stazionali, possono fornire informazioni fondamentali per la definizione delle caratteristiche biogeografiche di un dato territorio. La completa mancanza di specie e associazioni zonali rappresenta la massima forma di degrado di un territorio.

2.4 Inventario floristico

Le prime esperienze di raccolta di informazioni riguardanti la distribuzione delle specie vegetali sul territorio sono state effettuate in Olanda già alla fine degli anni '30 (le cosiddette “Plantenkaartjes”). Successivamente il metodo è stato applicato in maniera generalizzata su aree sempre più vaste ed oggi nella maggioranza dei paesi europei sono state avviate ricerche almeno parziali in questo senso.

La base comune per gli inventari floristici è un reticolato geografico che dopo tentativi successivi è stato dimensionato su aree di 3 x 5 minuti geografici: alle latitudini dell'Europa media si tratta di aree di forma quasi quadrata, con un lato di circa 6 km e superficie di circa 35 km². Queste aree si ottengono agevolmente dividendo i Fogli della nuova Carta 1:50.000 secondo le mediane in 16 superfici eguali. In alcuni casi sono stati effettuati censimenti sulla quadrettatura UTM, che può venire facilmente convertita nel reticolo geografico. Per ciascuna area viene effettuato il censimento completo di tutte le specie vegetali presenti. Questo richiede il passaggio ripetuto, in epoche diverse, di personale specializzato, un compito difficile, nel quale tuttavia è sempre stato possibile ottenere un'ampia collaborazione con carattere di volontariato.

Fino ad ora sono pubblicati atlanti complessivi per diverse zone d'Europa come le Isole Britanniche, Germania, Svizzera, per aree ad estensione regionale come la Navarra in Spagna e da noi il Friuli-Venezia Giulia oppure per aree urbane (Kassel, Roma, Varsavia, Zurigo). Attualmente in Italia si lavora attivamente nelle Alpi Orientali (Figura 2.7) dalla Carnia al Lago di Como, in Val d'Aosta e nell'Italia Centrale in Lazio e Molise, nelle altre aree si è ancora agli inizi.

Il risultato dell'inventario floristico è costituito da cartine di distribuzione delle singole specie, che permettono di rappresentare la distribuzione geografica di ciascun bioindicatore (Figura 2.8). Esse hanno un'applicazione diretta per argomenti come il bioclimate e la biodiversità, però rappresentano un materiale d'indagine estremamente flessibile, che si presta anche ad elaborazioni statistiche, applicazioni di altre informazioni (corotipi, forme biologiche, ecogrammi) ed incroci. Nell'esperienza di questi anni è chiaro che una conoscenza adeguata del territorio si raggiunge soltanto dove è stato compiuto questo tipo di inventario floristico.

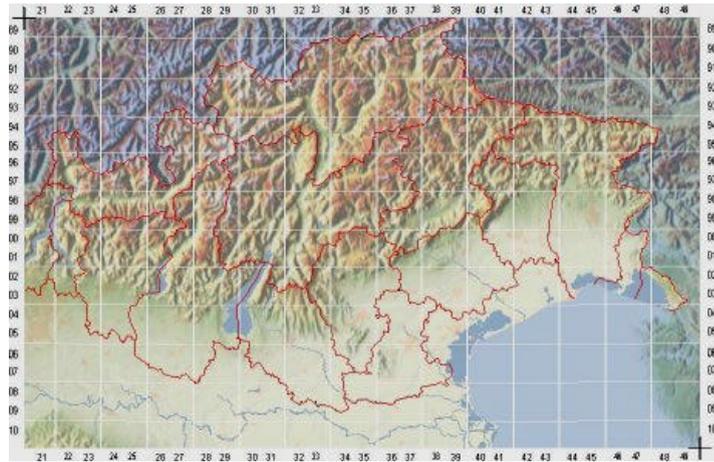


Figura n. 2.7: Esempio di reticolato di base (per gentile concessione di E.Bona).

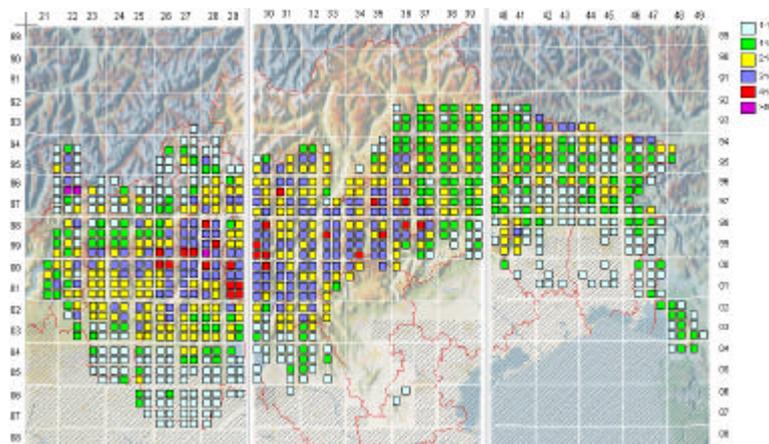


Figura n. 2.8: Esempio di Censimento Floristico; viene visualizzato il numero di specie pteridofite (per gentile concessione di E.Bona).

2.5 Individui di pregio

Un particolare significato di testimonianza va attribuito ad individui vegetali di particolare pregio: generalmente si tratta di alberi, che crescono nell'ambiente forestale oppure anche in parchi o altri ambienti gestiti dall'uomo, e che si caratterizzano per l'età vetusta. Quando si abbia la certezza che essi abbiano potuto mantenersi soltanto dove si verificano determinate condizioni di crescita, dalla loro presenza si può dedurre che queste condizioni nel luogo considerato si mantengono da un'epoca misurabile mediante l'età della pianta stessa. Il bioindicatore in generale ci dà un'informazione sulle condizioni attuali di un ambiente; in questo caso è invece possibile inferire anche le condizioni che si avevano in epoche precedenti. Si possono ricordare alcuni casi impressionanti: la palma *Chamaerops humilis* nell'Orto Botanico di Padova, nota come "Palma di Goethe", ha un'età di circa 430 anni: coltivata inizialmente all'aperto, nel 1800 ha dovuto venire protetta con una serra, in concomitanza con la "piccola glaciazione" di questo periodo. Si possono analogamente ricordare gli olivi millenari in

Sardegna oppure i cembri che sulle Alpi crescono al di sopra del limite attuale del bosco (ad es. nell'altopiano di Fanes sulle Dolomiti). Negli alberi urbani è stato anche possibile eseguire raffronti degli anelli annuali, che spesso dimostrano un rallentamento della crescita negli ultimi decenni, dovuto all'inquinamento atmosferico, ed anche determinare per via chimica l'accumulo di sostanze inquinanti nel legno (questa indagine viene effettuata anche sui licheni).

2.6 Bioindicazione statistica

Quando la bioindicazione viene effettuata sulla base di specie singole, i risultati restano necessariamente limitati dalla possibilità di eventi casuali ed anche di errori. Il risultato migliore, pertanto, si ottiene elaborando un set di specie così da ottenere medie significative. Di caso in caso si potranno utilizzare tutte le specie presenti in un determinato luogo (florule) oppure definire gruppi in base a criteri oggettivi.

E' possibile raggruppare le specie sulla base di diversi parametri, ottenendo così informazioni di vario tipo; queste, se considerate nel loro insieme, consentono di caratterizzare l'ecosistema in oggetto. Se si desidera ottenere informazioni di tipo qualitativo si possono definire i gruppi di specie analizzando le loro caratteristiche biologiche (per es. le forme biologiche); se, invece, filtriamo i dati in base alla frequenza con cui le specie sono presenti possiamo identificare le specie dominanti o caratteristiche distribuite sul territorio; inoltre, se si analizzano i dati sulla base dei parametri ecologici (temperatura, luminosità, nutrienti ecc.) e si eseguono studi di analisi multivariata, è possibile definire clusters significativi.

2.6.1 Bioindicazione di variazioni nello spazio e nel tempo

E' relativamente agevole mettere in evidenza le variazioni dei valori di bioindicazione nello spazio, perché si tratta di fenomeni che si manifestano sotto i nostri occhi. I metodi cartografici sono trattati nel paragrafo successivo. Ben più difficile (ma non meno interessante) è rilevare le variazioni nel tempo. In questo secondo caso è necessario disporre di un "punto zero", che permetta di interpretare la condizione attuale. L'esistenza di questo "punto zero" è per lo più dovuta al caso oppure ad una coincidenza favorevole: uno studio accurato eseguito nel passato, un ambiente di nuova formazione ecc.

La ripetizione di studi eseguiti in passato può dare informazioni interessanti sul problema del cambio climatico. Esistono numerose ricerche sulla vegetazione eseguite negli anni 1900-1950, che oggi possono venire ripetute con la stessa metodologia quando se ne conosca la localizzazione precisa. I risultati delle prime esperienze sono apparsi deludenti, ad es. nel caso della vegetazione del Kaiserstuhl in Germania oppure una nostra ricerca (rimasta inedita) sulla vegetazione infestante dei dintorni di Pavia. Infatti vi sono cause del tutto naturali che inducono una variazione della vegetazione, come la normale successione ed i processi di pedogenesi, e ad esse si sommano le variazioni nella gestione ad opera dell'uomo: queste cause possono mascherare almeno

in parte le variazioni della vegetazione. Quindi è poco realistico aspettarsi risultati clamorosi. Invece si sono spesso notate differenze fini, ma altamente significative, quando i risultati sono stati sottoposti ad accurate elaborazioni statistiche. Ad es. è stato constatato qualche esempio nel quale la composizione generale della flora era apparentemente invariata, però il numero medio delle specie individuate su superfici standard poteva essere variato in maniera significativa; oppure, pur avendosi più o meno le stesse specie, si aveva una variazione dei rapporti quantitativi tra queste e di conseguenza una decisa variazione dei valori medi degli indici di ELLENBERG, ad es. l'aumento degli indicatori di temperature elevate. Alcuni esempi verranno discussi nel Cap. 5.

2.7 Carte della vegetazione ed ecologiche

La metodologia utilizzata per la realizzazione della carta della vegetazione è ormai consolidata nel campo della cartografia fitosociologica. Le fasi fondamentali del lavoro sono:

1. Fotointerpretazione;
2. stima dell'accuratezza della carta;
3. rilevamento di campo;
4. definizione delle classi vegetazionali;
5. rappresentazione grafica.

Il **telerilevamento** è una metodica importante nella determinazione di una carta della vegetazione. Quest'ultima rappresenta un supporto indispensabile per un completo monitoraggio ed una gestione efficiente del territorio. L'utilizzo del telerilevamento ha permesso una più facile copertura di osservazione di aree molto estese, la cui analisi risulterebbe altrimenti incompleta.

La **fotointerpretazione** (1) comprende la lettura, l'analisi e la restituzione cartografica dei fototipi prodotti dalle fotografie aeree. In tempi passati l'interpretazione veniva effettuata mediante l'impiego dello stereoscopio, grazie al quale si riusciva ad avere un'immagine pseudo-tridimensionale che consentiva di stimare l'altezza delle formazioni vegetazionali, facilitandone l'individuazione.

Attualmente questo metodo è superato e vengono impiegate immagini digitalizzate multispettrali; queste immagini vengono acquisite da speciali sensori (uno dei più moderni è il "dedalus" che gestisce dodici bande spettrali) posti su satelliti o più raramente su aeromobili, che consentono di acquisire in maniera estremamente dettagliata informazioni riguardanti l'area analizzata.

Una immagine digitalizzata si presenta sotto forma di una mappa a colori; ogni singolo punto dell'immagine, più correttamente chiamato "pixel", corrisponderà ad una determinata superficie a terra: tanto più piccola è l'area di tale superficie tanto maggiore è la precisione dell'immagine acquisita.

La conoscenza dell'ampiezza dell'area sottesa ad un pixel è un processo chiamato “**stima dell'accuratezza**” (2). Nei dati attualmente in uso si utilizzano pixel di circa 30 mq. di superficie. Esistono, però, mezzi tecnici per arrivare anche a pixel di 2 mq.

Il migliore potere risolutivo si ha mediante le foto aeree, che tuttavia richiedono costi molto elevati.

Una volta stabilita l'accuratezza della mappa bisogna procedere con la georeferenziazione della stessa, in modo da poter collocare i dati in un contesto geografico più ampio ed eventualmente inserirli in un database GIS.

Per poter comprendere le informazioni contenute in una immagine digitalizzata bisogna, inoltre, effettuare un processo di “taratura” (anche detto “Training”); questo consiste nell'assegnare al codice colore di ogni singolo pixel un determinato tipo vegetazionale.

Per fare ciò bisogna disporre di **rilevamenti di campo** (3) relativi ad una o più piccole aree campione, in base ai quali stabilire le equivalenze di base (colore X=vegetazione Y).

Una volta definite le **classi di vegetazione** (4), si procede alla **rappresentazione grafica** (5) della mappa nel suo totale: a lavoro finito avremo una cartina del territorio analizzato, contenente aree diversamente colorate, dove ad ogni colore corrisponderà un certo tipo di vegetazione.

2.7.1 Dati satellitari

Recentemente è stata introdotta una nuova tecnica consistente nell'utilizzo di dati satellitari; queste informazioni, integrate con l'interpretazione dei tipi di vegetazione e con l'uso di banca dati per la definizione dei parametri ecologici, consente di riprodurre sulla carta delle superfici con il valore di indicatore delle specie presenti. Illustriamo brevemente i singoli passi.

Si tratta di informazioni digitali inviate dal satellite LANDSAT che rappresentano l'emissione luminosa della superficie terrestre. Questi dati vengono rilevati automaticamente su diversi canali per tutta la superficie del globo. Il satellite passa sopra l'area studiata ogni 28 giorni. I dati LANDSAT sono disponibili per la ricerca scientifica.

Il satellite invia informazioni sotto forma di aree colorate, però dai dati satellitari non si può sapere quale sia il significato dei singoli colori. In base all'esperienza di campagna ciascun colore viene identificato con un tipo di vegetazione oppure un habitat (alle nostre latitudini i due aspetti sono praticamente corrispondenti).

In seguito, si procede al confronto dei dati ottenuti con sei parametri ecologici, tratti dalla classificazione di Ellenberg, e allo sviluppo di sei cartine (vd. Figura).

Quest'ultime son ottenute attraverso metodi automatici; per ogni superficie individuata dal satellite vengono estratte le specie presenti nella relativa vegetazione, viene calcolato (utilizzando una banca dati ed uno specifico software) il valore medio e quindi la media generale. Vengono scelti colori progressivamente più scuri per indicare l'intensità del parametro ecologico. Va sottolineato che non si tratta di una misura diretta ma di una media ricavata dalla capacità dei bioindicatori (Figure 2.9 e 2.10).

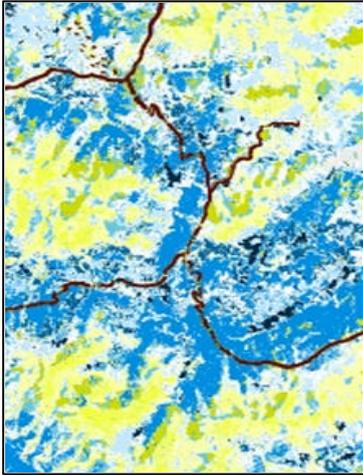


Figura n. 2.9a:
Carta ecologica (nutrienti).

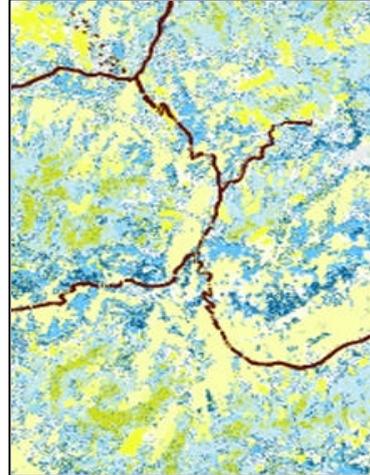


Figura n. 2.9b:
Carta ecologica (temperatura)

2.8 Biodiversità

Non esiste, finora, una definizione rigorosa di diversità generalmente accettata. Per WHITTAKER (1972) la diversità è collegata al concetto di ricchezza in specie considerata a vari livelli (comunità, aree analizzate dal fitogeografo o l'intera biosfera).

Secondo PIGNATTI (1995) si tratta di una misura del numero degli elementi di un sistema, ripartiti in classi differenti.

La ripartizione si basa su due fattori: la ricchezza e l'equitabilità (evenness). La ricchezza (detta anche densità di specie) è data dal rapporto tra il numero totale delle specie presenti in un dato sito e la superficie del sito stesso. Il secondo fattore, l'equitabilità, indica la frequenza relativa degli elementi del sistema.

Uno dei metodi più utilizzati per valutare la diversità è l'indice di Shannon, che può essere considerato una misura di informazione sul grado di disordine all'interno di un ecosistema (così come l'entropia rappresenta la misura del disordine molecolare di un sistema termodinamico).

La formula descritta da Shannon (derivata dalla nota formula di Boltzmann) è la seguente:

$$H = - \sum p \log p$$

dove l'indice H è uguale alla sommatoria della probabilità che si verifichi un evento per il logaritmo in base due dell'evento stesso. Empiricamente, la probabilità è stata sostituita dalla frequenza ($p = n_i/N$, dove n_i corrisponde al numero "n" di individui di una determinata specie "i" e N è uguale al numero totale degli individui). La formula espressa in base alla frequenza di specie è:

$$H = - \sum p \log p$$

Il concetto di ordine viene applicato, in particolare, agli ecosistemi la cui stabilità è determinata da meccanismi quali omeostasi e resilienza.

Gli ecosistemi stabili ricevono dall'ambiente esterno diverse informazioni, a causa delle quali subiscono variazioni in senso disordinato (o entropico) oppure in senso ordinato (o neg-entropico). I fattori che agiscono in generale in senso entropico sono l'acqua, il fuoco, gli inquinanti e il pascolo non intensivo.

L'acqua è un fattore fondamentale per la vegetazione. Essa opera una selezione, aumentando così l'ordine nel sistema. Quando l'acqua è disponibile in gran quantità, la sua azione di selettore non è più evidente, per cui il sistema si sviluppa in senso entropico.

La condizione contraria si ha in periodi di siccità oppure per effetto di incendi, che in ambiente mediterraneo è un evento naturale.

Gli incendi possono essere di due tipi: incendi a corona e superficiali. La loro azione sulla vegetazione ha effetti diversi. Negli incendi a corona si ha una distruzione completa della vegetazione e della sostanza organica, seguita, in alcuni casi, da una desertificazione.

Gli incendi superficiali, invece, alterano la stabilità di un ecosistema, che, successivamente può recuperare, in un tempo relativamente breve, la sua funzionalità. In questo caso, il fuoco agisce come elemento di disturbo in un sistema stabile, aumentandone il disordine.

Anche l'introduzione di sostanze chimiche inquinanti agisce in senso entropico. L'eutrofizzazione, dovuta all'immissione di una grande quantità di nutrienti nell'acqua, ha causato la modificazione della velocità di flusso dei materiali fondamentali.

Tra gli erbivori, infine, vi sono animali (pecore e mucche) che pascolano in maniera indiscriminata ed altri come le capre che pascolano in modo selettivo; a questo va aggiunta l'azione meccanica esercitata dagli zoccoli. L'insieme di queste azioni provoca un effetto disordinante sull'ambiente. Quando il pascolo è intensivo sopravvivono solo le specie più specializzate, per cui il sistema procede in senso neg-entropico.

Il concetto di biodiversità può essere applicato a vari livelli in un ecosistema. Tale concetto applicato all'interno di un habitat o comunità assume il termine di α -diversità; tra due o più habitat quello di β -diversità; infine, tra due o più aree regionali o biomi quello di γ -diversità

Con la Conferenza di Rio de Janeiro (1992) veniva approvato il protocollo che impegna tutti i paesi a studiare e conservare la biodiversità. Oggi questo è dunque divenuto un problema fondamentale della politica del territorio. In una accezione ampia la diversità è dunque data dall'insieme delle specie presenti, tenuto conto delle relazioni e vincoli tra di esse: questo viene considerato il punto centrale per la valutazione della qualità ambientale.

3. STRUMENTI DI ANALISI

3.1 Cenni sulle metodologie informatizzate per l'analisi ambientale

Lo studio ambientale di una determinata area geografica comprende l'analisi di molti fattori, biologici e non, che concorrono a formare la combinazione fisico-chimico-biologica indicata come ecosistema. I parametri da considerare sono molteplici e di varia natura, cosicchè risulta spesso difficile poter interpretare le informazioni raccolte ed estrapolarne delle conclusioni valide.

Inoltre, nella maggior parte dei casi risulta necessario analizzare non solo le caratteristiche dell'ambiente in un determinato "istante" ma anche (e soprattutto) monitorare l'ambiente nel tempo in risposta ad eventi esterni di natura antropica o no.

Da quanto esposto fino ad ora si comprende l'importanza di creare degli "archivi" dove immagazzinare i dati raccolti di volta in volta e dove attingere le informazioni per le elaborazioni necessarie allo svolgimento dell'analisi. Questo fatto è di massima importanza se consideriamo che con l'avvento dell'informatica è stato possibile automatizzare molte operazioni di analisi statistica quali-quantitativa grazie a specifici algoritmi in grado di "interpretare" alcune informazioni e di restituire come risultato una valutazione di massima della situazione studiata.

3.2 Le banche dati

Cosa è una banca dati? Una Banca dati o, come viene più comunemente definita un "database", non è altro che un insieme di informazioni di vario genere ordinate coerentemente. Anche se al giorno d'oggi è intuitivo pensare alle banche dati come a qualcosa di informatico, in realtà proprio per la definizione che abbiamo dato possiamo considerare "database" una qualsiasi biblioteca, l'archivio dell'anagrafe di una città, un erbario, la collezione di opere d'arte di un museo e numerosi altri esempi che esistono da molto tempo prima dell'avvento dei computer, e nonostante ciò possono essere comunque considerate banche dati.

Dal punto di vista vegetazionale un ottimo esempio di un argomento gestibile attraverso una banca dati, nonché uno dei più antichi, è costituito da quello che comunemente chiamiamo "Flora", ovverosia l'insieme delle specie vegetali (e delle loro caratteristiche) che risultano essere presenti su di un determinato territorio.

A questo esempio se ne possono aggiungere altri, tutti accomunati da una caratteristica di fondo: se si riesce ad archiviare informazioni importanti in maniera organizzata sarà possibile poi, in un qualsiasi momento, non solo richiamarle ma anche effettuare elaborazioni combinando informazioni di varia natura; questo risultato può anche portare a formulare dei modelli matematici che rispecchino il comportamento degli

ecosistemi, che sono, come sappiamo, delle entità multifattoriali spesso di non facile comprensione.

3.3 Costruzione di una banca dati

Abbiamo appurato l'utilità di realizzare banche dati per agevolare l'interpretazione delle informazioni ottenute ed è lecito chiedersi che cosa deve "contenere" una banca dati? La risposta, in realtà, dipende dal tipo di analisi che vogliamo svolgere.

Nel nostro caso, dovendo rispecchiare la complessità degli ecosistemi, caratterizzati da una molteplicità di variabili, anche i database relativi risultano essere complessi, dovendo immagazzinare dati di diversa natura: floristici (nome delle specie presenti, forma biologica, tipo di riproduzione, numero cromosomico ed altro), vegetazionali (tabelle relative alle specie presenti sul territorio, la loro frequenza, la loro stratificazione...) e chimico-fisici (valori di irraggiamento, temperatura, acidità, ricchezza in nutrienti del terreno, ecc.).

Come si vede ci troviamo davanti alla necessità di gestire informazioni di vario tipo che richiedono strutture informatiche appropriate per il loro immagazzinamento: dovremo utilizzare, infatti, variabili numeriche intere e reali, variabili booleane (vero/falso), variabili alfanumeriche semplici e multiple (frasi semplici o intere annotazioni di testo), nonché eventuali dati binari "blob" – **binary large object** -(immagini, grafici, cartine).

Diamo ora un'occhiata a come è costituita concettualmente una banca dati.

Le informazioni che compongono un database vengono classificate utilizzando strutture chiamate "campi" (o anche "fields") e "schede" (anche dette "records"); poiché le terminologie inglesi sono le più utilizzate chiameremo d'ora in poi records le schede, fields i campi e database l'insieme della banca dati. Inoltre, si definisce "entità" l'oggetto del quale ci interessa archiviare le informazioni (per esempio: per un database della flora italiana l'"entità" è rappresentata da ogni singola specie vegetale).

Per "record" si intende l'insieme dei dati relativi alla entità che stiamo analizzando, mentre il termine "campo" identifica una particolare informazione all'interno del record (per es. la "famiglia" della specie in oggetto). Una rappresentazione semplificata di un database semplice può essere fatta bidimensionalmente immaginando di avere le informazioni scritte su di una tabella: ogni riga costituirà un record di dati, mentre ogni colonna corrisponderà ad un campo (Figura 3.1).

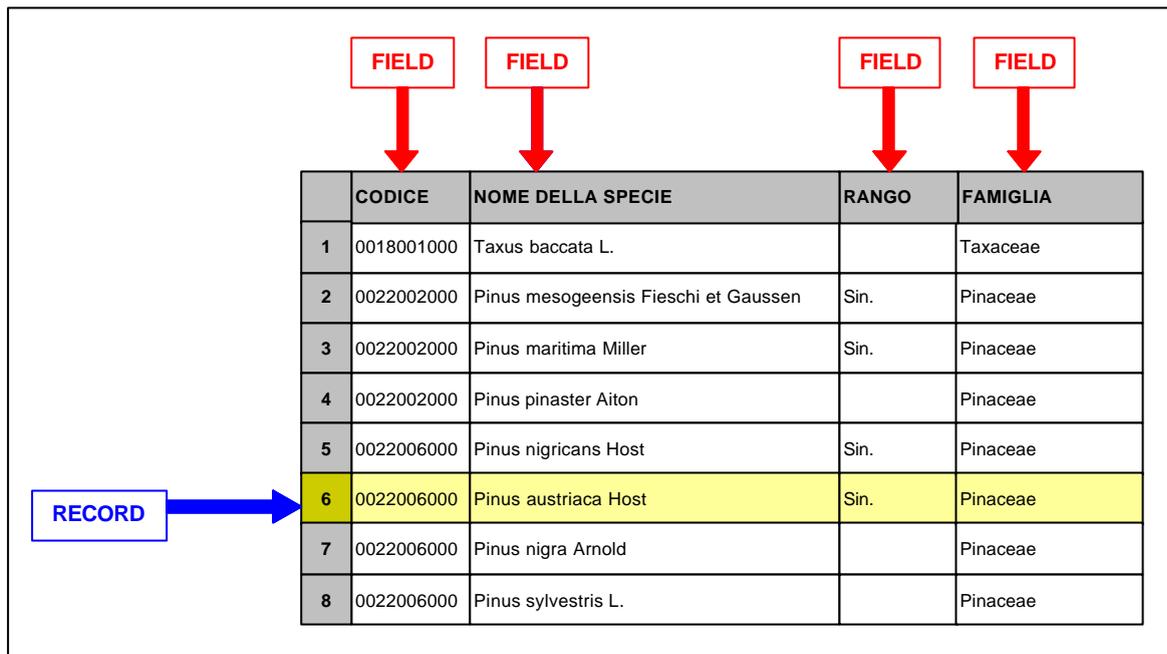


Figura n. 3.1: Semplice schematizzazione di un database. In questo esempio l’“entità” memorizzata è la specie vegetale: ogni “record” corrisponde ad una riga della tabella e contiene le informazioni relative ad una singola pianta; tali informazioni sono suddivise in vari “fields” ognuno corrispondente ad una colonna.

3.4 Database relazionali

Abbiamo visto che l’analisi di un ecosistema coinvolge moltissime variabili e, anche se in teoria è tecnicamente possibile realizzare un unico grande archivio contenente tutti i dati, in realtà l’approccio più corretto, e più frequentemente utilizzato dal punto di vista informatico, è quello di suddividere le informazioni in più sottoarchivi (chiamati “tabelle”, o più comunemente “table”) contenenti dati omogenei dal punto di vista logico. Naturalmente bisognerà fare in modo di collegare i vari archivi tra loro in maniera coerente, così da poter accedere comunque a tutte le informazioni in essi contenute.

Questa struttura ad archivi delocalizzati collegati tra loro viene definita “database relazionale”, poiché l’integrità delle informazioni in esso contenute è dettata dalle *relazioni* che collegano le varie *Table* tra loro e che consentono di accedere alla totalità del record.

Questa struttura relazionale offre molti vantaggi. Immaginiamo di dover allestire il database in figura 3.2 utilizzando una semplice tabella: arrivati ai campi “bibliografia” e “distribuzione” ci troveremo davanti alla necessità di memorizzare un numero imprecisato di elementi, che possono variare in numero da una specie all’altra. Potremmo illuderci di risolvere la faccenda banalmente in due modi: scrivendo tutta la

bibliografia in una singola colonna-“campo” (memoria del programma permettendo) oppure prevedere una singola colonna per ogni voce da memorizzare - “Bibl1”, “Bibl2”, e così via. Tuttavia in entrambi i casi avremmo ben presto dei problemi: nella prima situazione potremmo memorizzare solo alcuni dati (la capacità di una cella di foglio elettronico è abbastanza limitata) e, soprattutto, sarebbe veramente difficile poter sapere, automaticamente, quante voci sono state memorizzate per ogni specie.

Nel secondo caso la situazione non è certo migliore: dovremmo aggiungere una colonna ogni volta che una specie arriva ad avere un numero di voci bibliografiche superiore al numero delle colonne da noi inizialmente previste; questo fatto comporta due conseguenze importanti: la prima è che non possiamo aggiungere a nostro piacimento un numero arbitrario di colonne (le capacità dei programmi sono limitate in tal senso), la seconda, ancora più rilevante dal punto di vista della funzionalità del database, è che avremmo un enorme spreco di memoria: se tutte le nostre specie avessero due citazioni bibliografiche ed una specie soltanto ne avesse dieci ci troveremmo costretti ad utilizzare dieci colonne per tutte le specie dell’archivio. E’ bene precisare che, salvo rarissime eccezioni, tanto maggiore è la memoria occupata dal database tanto più lente saranno le operazioni di consultazione ed elaborazione dei dati in esso contenuti.

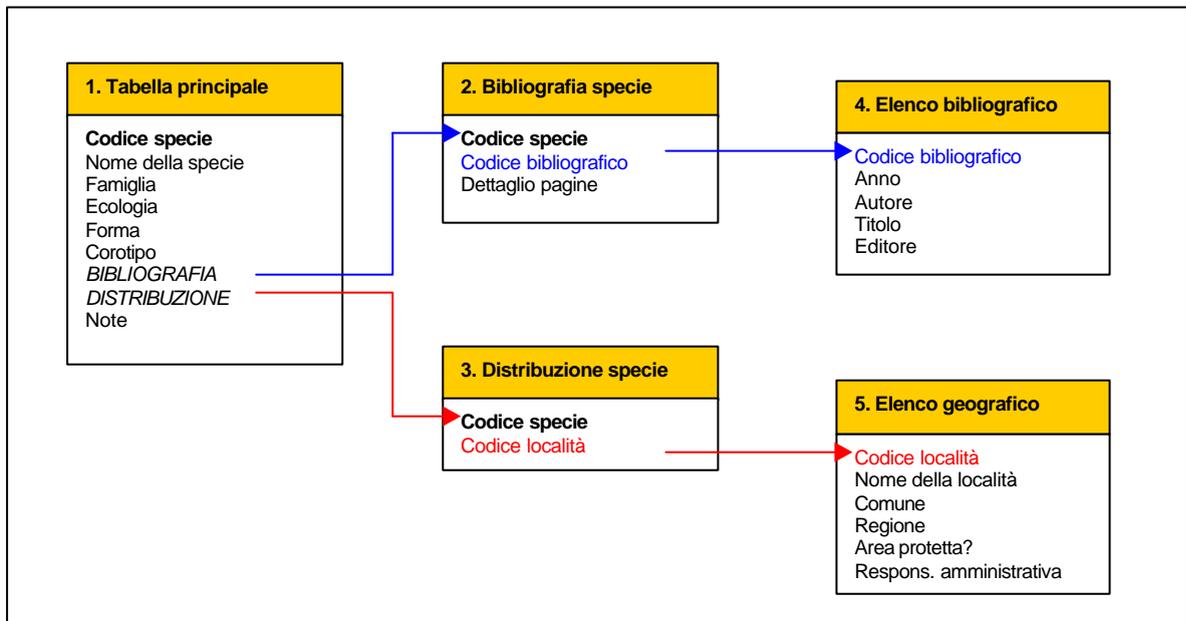


Figura n. 3.2: Esempio di database relazionale (master-detail). L’insieme delle informazioni è stata suddivisa in più tabelle contenenti dati omogenei ed ordinate gerarchicamente: la tabella 1 funge da “master” nei confronti della 2 e della 3; queste ultime, a loro volta, sono master verso, rispettivamente, la 4 e la 5. Le frecce indicano le correlazioni tra i vari livelli di informazioni; ogni freccia indica un collegamento ad uno o più record della tabella subordinata (“detail”).

Sempre osservando la figura precedente ci rendiamo anche conto di un altro aspetto, peraltro di notevole importanza: la *codifica* delle entità

Nei database relazionali i collegamenti tra le varie tabelle vengono instaurati e mantenuti grazie ad un singolo campo che viene deputato a fare da “coordinatore” all’interno dell’intera struttura del database o in una sua parte. Nel caso in figura si è scelto di attribuire un **codice** ad ogni specie, citazione bibliografica e località geografica e sono proprio questi tre codici, ognuno all’interno della loro area di competenza, che consentono di richiamare la totalità delle informazioni contenute nel database.

Se, per esempio, stiamo visualizzando il record (cioè la “scheda”) di una determinata specie, per visualizzarne i dati bibliografici il software cerca nella tabella 2 tutte le voci in cui il “codice specie” è uguale a quello della specie corrente; fatto questo per ognuna di queste voci va a cercare i dettagli (Anno, Autore, Titolo, ecc.) nella tabella 4 basandosi, questa volta, sul “codice bibliografico”.

E’ importante scegliere con cura il tipo di codifica da utilizzare poiché per funzionare correttamente i codici devono essere *univoci* per ogni entità memorizzata; per esempio se attribuiamo il codice “0018001000” alla specie “*Taxus baccata L.*” tale codice dovrà appartenere esclusivamente a quella specie ed a nessun’altra, pena la perdita e/o la alterazione delle informazioni contenute nel nostro database.

Anche se in linea teorica può essere sufficiente utilizzare come codice un numero progressivo unico per ogni entità memorizzata nel database, in genere si preferisce adottare delle procedure di codifica che producano dei valori in qualche modo significativi, anche in assenza del software gestionale. Un esempio banale e forse non del tutto calzante, ma che può chiarire il concetto, è rappresentato dal codice fiscale. Il problema di fondo era quello di poter identificare univocamente una persona; in teoria, per fare ciò sarebbe stato sufficiente attribuire un numero progressivo ad ognuno (come il numero di matricola dei militari), ma nella realtà si è scelto di utilizzare un codice alfanumerico che contiene delle informazioni (parte del nome, il sesso, la data ed il luogo di nascita) che risultano essere in qualche modo interpretabili anche senza l’ausilio di particolari dispositivi. Il vantaggio di questa metodica è che essa consente di poter effettuare dei controlli sulla integrità e sulla coerenza dei dati contenuti nel database utilizzando come sorgente il codice stesso. Per quanto riguarda le specie vegetali della flora italiana, il codice, alfanumerico a 10 caratteri, contiene informazioni circa la famiglia, il genere ed il rango; una descrizione più completa della struttura del database della flora d’Italia e della relativa codifica delle specie viene fatta nel capitolo successivo.

Come accennato precedentemente, il vantaggio maggiore derivante dall’impiego delle banche dati è quello relativo alle capacità di analisi delle informazioni in esse contenute. Infatti, anche se le singole informazioni possono essere inserite in modo che sembrano fini a se stesse (come quando riportiamo la presenza di una determinata specie in una certa località), la natura relazionale del database consente di associare informazioni di differente tipologia per produrre risultati molto più interessanti. Nei database vegetazionali, le singole specie vegetali presenti vengono normalmente corredate di descrittori che costituiscono la base di partenza per processi come la bioindicazione, l’analisi della biodiversità, lo studio della ricchezza in specie e molti altri.

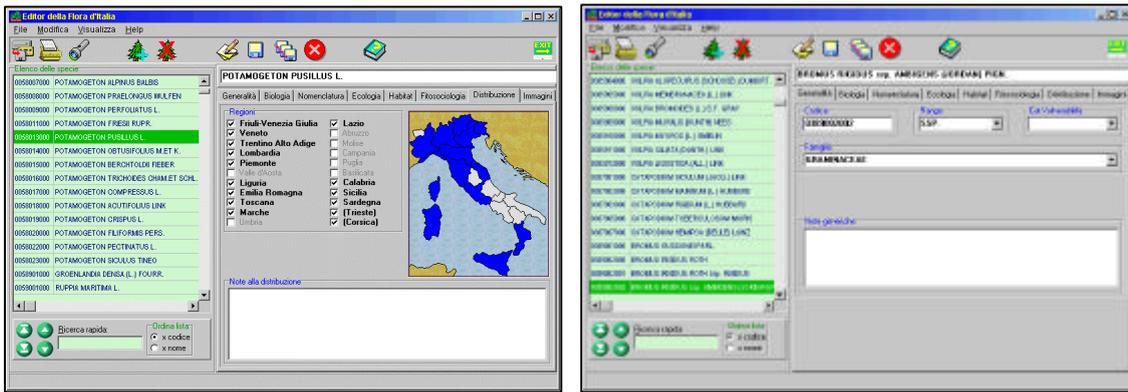


Figura n. 3.3: Esempio di software gestionale per database (Flora d'Italia. Pietrosanti, 2000). Sono evidenti i differenti tipi di dato di ogni singolo campo (Vero/Falso, numerico, alfanumerico, testo, immagine...). Come accennato nel testo, i software gestionali per database non si limitano alla archiviazione delle informazioni ma consentono anche di effettuare delle interrogazioni (chiamate tecnicamente “query”), basate su criteri anche molto complessi; in questo modo si possono richiamare specifici dati che, elaborati in maniera opportuna, forniscono importanti informazioni riguardo argomenti come la biodiversità e molti altri.

3.5 Ricchezza in specie ed endemismi

La salvaguardia della biodiversità viene oggi considerata tra le esigenze prioritarie; tuttavia un'azione efficace può esser basata soltanto sulla conoscenza dello stato attuale del problema, e qui si deve riconoscere che ancora molte delle informazioni di base mancano, sia in Italia, sia nella maggioranza dei paesi europei. E' noto che alcune aree presentano un'elevata diversità in Italia ad es. le Alpi Marittime oppure il Pollino, tuttavia una valutazione quantitativa affidabile e di significato generale, finora manca.

Se ci limitiamo alla flora, il problema è relativamente semplificato, in quanto la presenza delle specie vegetali viene rilevata in maniera abbastanza agevole, e studi di questo tipo sono portati avanti ormai da più di un secolo; esistono numerosissime liste riguardante tutte le regioni del nostro paese: Si dispone di molti dati numerici, tuttavia rimane il problema della comparabilità dei dati. Un deciso progresso si è avuto quando hanno cominciato a diffondersi i metodi di Censimento Floristico organizzati secondo la rete Centroeuropea; in Italia si è iniziato già nel 1968 per il Friuli-Venezia Giulia (PIGNATTI, 1975, 1979), ed oggi si dispone di dati abbastanza completi per tutto il Nordest del paese e parti dell'Italia Centrale ed anche di due atlanti (Roma: CELESTI, 1995; Friuli-Venezia Giulia: POLDINI 1996); per l'Europa si dispone di opere generali riguardanti le Isole Britanniche, Germania e Svizzera.

Il Censimento floristico viene effettuato su aree di grandezza standard (3 x 5 minuti geografici, pari a circa 35 km²) e consiste nell'elenco per quanto possibile completo di tutte le specie che si presentano nella vegetazione spontanea di ciascuna area.

Nell'esperienza finora raccolta, il totale varia tra 200 ed oltre 1000 specie. Questa può esser indicata come densità floristica, una misura diretta della biodiversità del componente vegetale. Gli ambienti più ricchi sono quelli che presentano condizioni molto variate, come livelli, abbondanza d'acque, varietà di substrati, ad es. nella fascia prealpina. I più poveri sono invece gli ambienti più profondamente trasformati dall'opera dell'uomo, per usi abitativi oppure agricoli.

Sulle basi di questa esperienza e di dati della letteratura che possono venire considerati comparabili è stato possibile tracciare una cartina della densità floristica del territorio italiano (Figura 3.4), che viene qui presentata per la prima volta, anche se essa ovviamente rappresenta un'approssimazione. La densità più elevata si raggiunge, come già accennato, nella fascia prealpina, nell'Insubria e lungo le Alpi Occidentali, come pure nella dorsale appenninica dalle Marche all'Abruzzo.

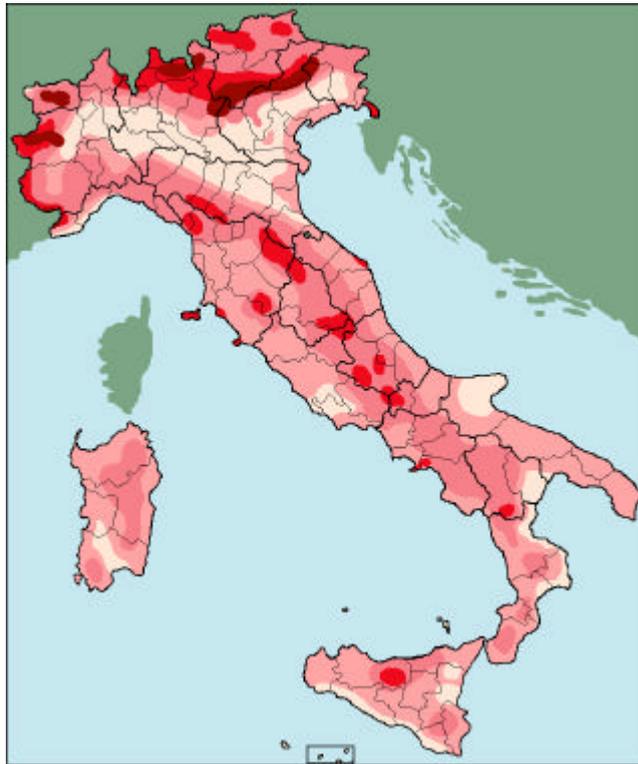


Figura n. 3.4: Ricchezza in specie del territorio italiano. Le aree più scure indicano una maggiore quantità di specie vegetali, quelle più chiare mostrano aree relativamente povere (da dati originali).

Valori più bassi si hanno in generale nell'Italia mediterranea (soprattutto a causa della limitata disponibilità di ambienti umidi con vegetazione naturale), ed ancora inferiori nelle pianure densamente coltivate come la Padania e l'Agro Pontino. Questi valori corrispondono soltanto in parte alle zone ad elevato endemismo: ad es., sia l'Etna che le coste della Sardegna, hanno densità floristica relativamente bassa, pur avendo alcuni esempi di tipi ancestrali di grande significato biogeografico (*Abies nebrodensis*, *Genista aetnensis*, *Centaurea horrida*).

In generale, un'elevata densità floristica corrisponde ad altrettanta densità di elementi faunistici, quindi la cartina sopra riportata può dare una rappresentazione abbastanza significativa della qualità ambientale del nostro territorio.

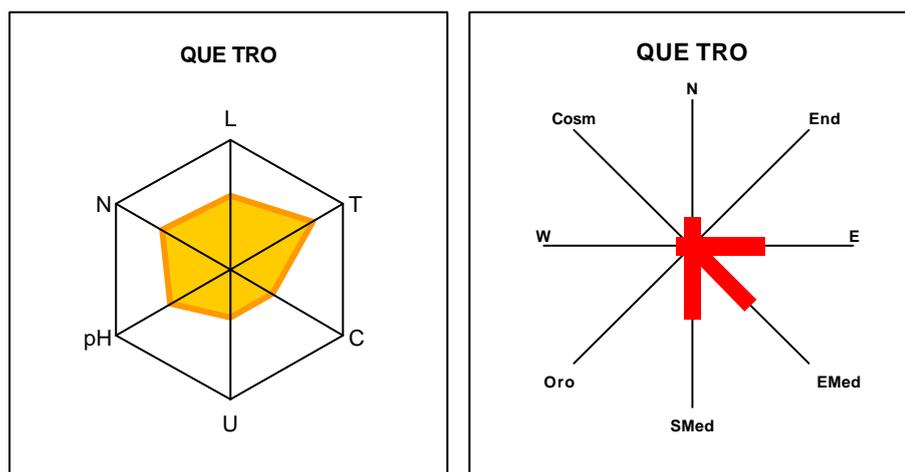
3.6 Ecogrammi e corogrammi

Il desiderio di perfezionare l'analisi degli ecosistemi utilizzando come indicatore la vegetazione relativa ha portato a formulare modelli matematici in grado di sintetizzare le informazioni fornite dall'insieme delle specie vegetali in modo da renderne più agevole l'interpretazione.

Tra i metodi più recenti l'ecogramma ed il corogramma meritano sicuramente una analisi dettagliata.

Entrambi i metodi si basano su di un database, contenente le informazioni ecologiche e corologiche delle singole specie, e sulle tabelle sinottiche di rilevamento sul campo. Mediante un algoritmo specifico vengono relazionati i valori dei parametri ecologici (o i dati corologici) di ogni singola specie riscontrata con la frequenza che quest'ultima mostra sul territorio considerato; il risultato viene poi normalizzato in base ai valori massimi di ciascuna scala.

Così facendo ciascuna specie viene valutata in base alla frequenza con cui è presente, quello che ne risulta è che gli ecogrammi ed i corogrammi così ottenuti costituiscono dei veri e propri "fingerprint" delle associazioni vegetali (Figura 3.5).



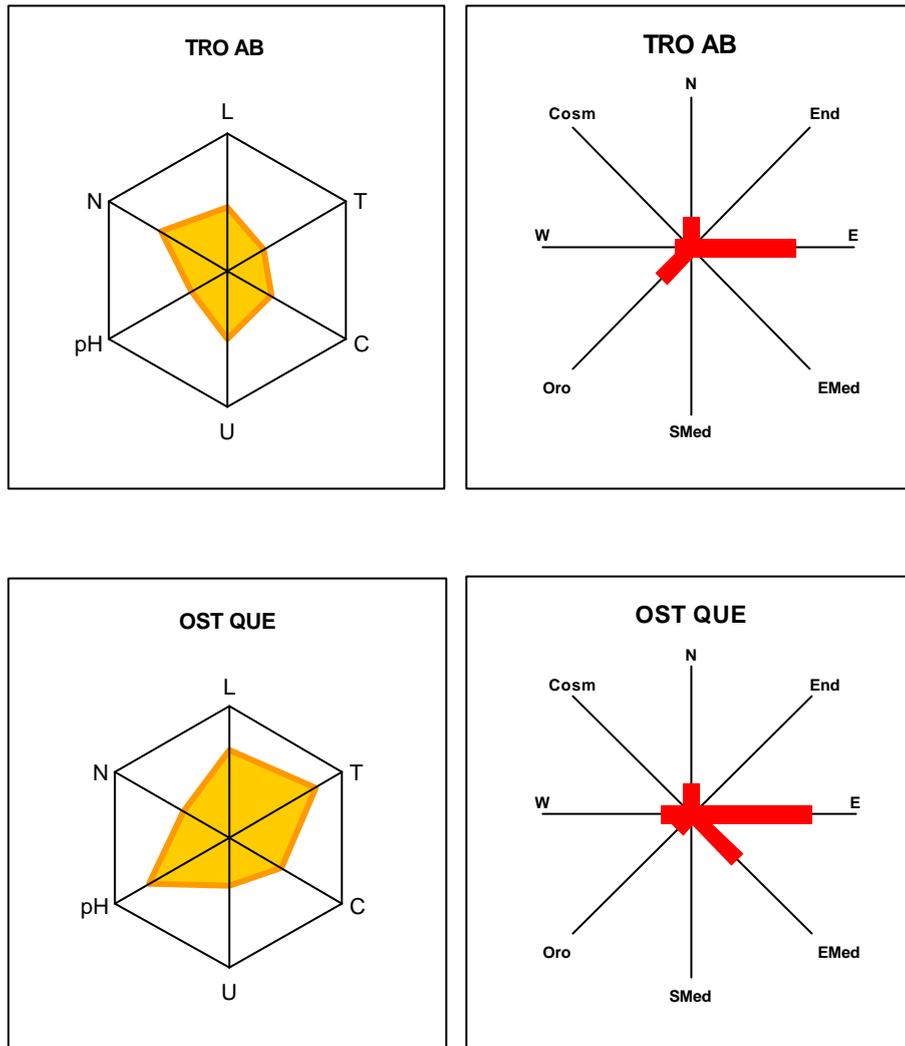


Figura n. 3.5: Esempi di Ecogrammi e Corogrammi.

Si nota come le tre differenti associazioni presentino grafici caratteristici, tra loro differenti. La rappresentazione grafica delle diversità ecologiche e corologiche delle associazioni consente una più immediata identificazione delle unità vegetazionali rispetto alla semplice lettura di tabelle di dati numerici.

4. IL CASO ITALIA

4.1 La Flora d'Italia (Pignatti, 1982) come base di dati

Come abbiamo visto precedentemente la flora di una certa regione geografica può considerarsi alla base dello studio degli ecosistemi presenti, poiché attraverso la conoscenza delle caratteristiche delle specie vegetali e delle loro relazioni interspecifiche possiamo ricostruire un modello del sistema in analisi. Uno dei riferimenti di maggior rilievo per quanto riguarda le specie vegetali presenti nel nostro Paese è la "Flora d'Italia" redatta da S. Pignatti e pubblicata sotto forma di tre volumi nel 1982.

La flora di Pignatti rappresenta, per la sua organizzazione, non soltanto uno strumento di grande utilità nello studio della flora e della vegetazione, ma anche nell'analisi dei dati che i due livelli di indagine possono fornire circa gradienti e caratteristiche ecologiche di una data area o di una comunità, in quanto tutte le informazioni sono predisposte in forma facilmente digitalizzabile.

Essa si caratterizza per la completezza delle informazioni riportate, che spaziano dalla forma biologica, al tipo corologico, agli habitat nonché alla distribuzione geografica ed altitudinale, e per la presenza di chiavi analitiche ed illustrazioni (delle intere piante o di alcuni particolari rilevanti) che facilitano il compito di riconoscimento.

Ma forse il vero "plus" che questa opera ha offerto è l'apertura mentale verso un nuovo approccio strutturato alla gestione delle informazioni. Infatti, a differenza delle altre flore d'Italia e delle flore di altri paesi europei tale flora riporta una codifica numerica per ciascuna specie. Originariamente la codifica utilizzata prevedeva sette cifre: le prime 4 (derivate dall'Index Generum Phanerogamarum di DALLA TORRE ET HARMS) indicanti il genere, le altre 3 la specie corrispondente al numero progressivo in Flora Europaea oppure ad un numero arbitrario (vedi PIGNATTI S., *Vegetatio* 33:23-32, 1976).

La necessità di disporre di informazioni sempre più aggiornate per effettuare le proprie elaborazioni ha suggerito l'opportunità di allestire una Banca Dati informatizzata contenente le informazioni riportate nei tre libri che compongono l'opera. Come è facile aspettarsi, tale conversione di dati dalla forma cartacea a quella elettronica ha richiesto un impegno pluriennale ed ha coinvolto molte persone, ognuna delle quali si è occupata di inserire una parte dei dati.

L'informatizzazione ha fatto emergere anche problemi nuovi, non affrontati al momento della stesura originale; uno dei maggiori è stato quello relativo proprio alla codifica delle specie. Infatti, anche se l'opera prevedeva già un codice per le specie, mancava la classificazione delle unità subordinate (sottospecie, varietà, agamospecie, ecc.). Questo problema, che dal punto di vista informatico è di notevole rilevanza (cfr. Cap. 3), è stato risolto portando l'ampiezza del codice dalle 7 cifre originali alle 10 attuali e stabilendo nuovi criteri per la codifica delle specie sopracitate utilizzando le nuove tre cifre predisposte.

Sulla scia di questo nuovo approccio, e coerentemente con i canoni dei database relazionali, sono state codificate anche le forme, i corotipi e gli habitat ampliando così le possibilità di analisi numerica multifattoriale.

La creazione di un database informatico contenente la Flora d'Italia ha fatto sì che fosse anche più agevole l'arricchimento dello stesso con nuove e più moderne informazioni. Un esempio rilevante è stata l'aggiunta dei campi relativi ai *parametri ecologici di Ellenberg*, affermatasi dopo la pubblicazione della Flora ed inseriti con relativa facilità, sia pure con un lavoro molto impegnativo di verifica dei dati, all'interno del database grazie alla flessibilità dell'architettura informatica utilizzata.

In figura 4.1 viene riportato uno schema semplificato della struttura attuale del database della Flora d'Italia; i nomi dei campi sono solo indicativi e possono racchiudere al loro interno più campi reali (per. es. per "ecologia" si intende l'insieme di Altitudine min-max, valore dei parametri di Ellenberg e note ecologiche descrittive). Nella figura possiamo osservare i differenti tipi di correlazione tra le tabelle:

- tutte le relazioni indicate sono di tipo *bidirezionale*, cioè possiamo seguire il flusso delle informazioni indifferentemente da una tabella verso l'altra o viceversa (per es. possiamo, dato il nome di una specie, sapere i suoi sinonimi, ma anche, dato un sinonimo, sapere a quale specie si riferisce);
- alcune relazioni sono rigidamente *univoche*, di tipo "uno a uno", come nel caso del legame "nomi"- "dati principali"; ad un determinato nome di specie corrisponderà un solo set di dati; altre relazioni sono multiple, di tipo "uno a molti" (per es. "nomi"- "<"sinonimi");
- infine, possiamo osservare come alcune relazioni siano *facoltative* (quelle segnate in figura con un cerchio), poiché ci possono essere specie che non hanno nessuna voce ad esse correlate (per es. una specie senza sinonimi).

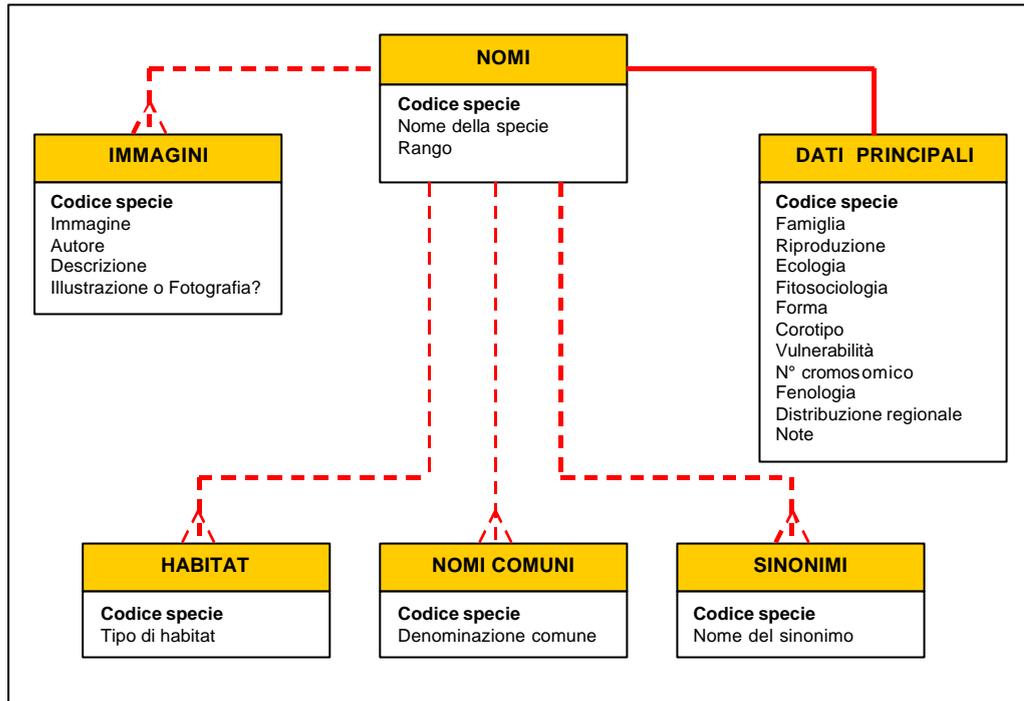


Figura n. 4.1: Schema gerarchico del database della Flora d'Italia. Le linee tratteggiate indicano relazioni facoltative; le ramificazioni indicano collegamenti di tipo "uno a molti".

La scelta accurata del tipo di correlazioni tra le tabelle determina l'efficienza del database nel suo complesso e perciò influenza anche indirettamente le possibilità di elaborazione dei dati in esso contenuti.

Il legame tra specie e caratteristiche biologiche, corologiche ed ecologiche rende possibile, anche utilizzando software commerciali quali Excel o Access, l'esecuzione di molte delle analisi volte a caratterizzare la flora di un'area o di una comunità, assegnando a ciascuna specie presente in un dato rilievo floristico o vegetazionale gli opportuni codici numerici. I dati ottenuti con uno studio di questo tipo possono essere riferiti alla devianza rispetto ai totali nazionali o regionali permettendo, così, una ulteriore caratterizzazione del sito in esame.

I dati sulla distribuzione geografica e altitudinale forniscono modelli a cui riferirsi per l'analisi della flora o vegetazione di una data località e permettono di esaminare la distribuzione delle singole specie a livello regionale. Il loro inserimento in un Data Base permette inoltre un facile aggiornamento in caso di nuovi reperimenti.

4.2 Densità floristica in Italia

A livello numerico la Flora d'Italia testimonia la densità floristica del territorio italiano esteso secondo la latitudine, con un notevole dislivello (da 0 a 4848 mt) e morfologia

accidentata rispetto ad altre nazioni europee. In Italia troviamo più della metà dell'intera flora europea stimata a poco più di 11.000 specie. Dalla tabella 4.1. si osserva, inoltre, come la densità floristica sia maggiore nelle nazioni con presenza di clima mediterraneo: si tratta di una delle aree più ricche di specie dell'intero pianeta e purtroppo anche una delle aree dove la pressione demografica è più intensa.

Rapporto flora nazionale/flora europea *100 = (5599/11000)*100 = circa 50%

La densità specifica non è a questa scala in relazione solo alla superficie ma testimonia l'aumento delle specie procedendo verso sud e in funzione dell'articolazione e complessità geomorfologica del territorio. Non è estranea l'azione umana dato che il 9,4 % della flora Italiana (527 specie) è di origine esotica.

Nazione	N° specie	Sup. kmq
Italia	5599	301049
Spagna	5050	505545
Portogallo	5050	91831
Grecia	4992	131957
Francia	4630	543965
Bulgaria	3572	110994
Austria	3100	83859
Albania	3031	28748
Germania	2682	357021
Ungheria	2214	93030
Svezia	1750	449531
Norvegia	1715	323917
Regno Unito	1623	244768
Belgio	1550	30528
Lussemburgo	1246	2586
Olanda	1221	41526
Finlandia	1102	338145
Malta	914	316
Islanda	377	102819

Tabella n. 4.1: Densità floristica di alcune nazioni Europee (da IUCN 1997).

La densità floristica non è patrimonio solo delle aree naturali (Tabella 4.2, vedi anche Figura 3.5): nel caso delle aree urbane si è osservata una ricchezza notevole di specie nella provincia di Trieste e nel Comune di Roma, dove si può registrare la presenza di 1/5 della flora italiana su superfici limitate (217 e 440 kmq). In questo caso la diversità è imputabile ad aree naturali superstiti all'interno della rete urbana, alla presenza di geomorfologie accidentate, di successioni dovute all'attività antropica e di un vasto corteggio di specie esotiche e naturalizzate, tipiche di tutte le aree fortemente antropizzate.

In linea generale, la densità floristica risulta variare in ragione inversa alla superficie considerata. Così le regioni più estese (Piemonte, Lombardia, Sicilia, Sardegna) hanno

il rapporto specie/superficie più basso, mentre i valori più elevati si hanno nelle aree urbane di Roma e Trieste.

4.3 Il limite tra zona continentale e zona mediterranea in Italia

L'estensione latitudinale e altitudinale della penisola e la presenza di macroclimi e mesoclimi molto variabili porta a notevoli differenze nella densità floristica delle varie regioni che non raggiunge il suo massimo in quelle più grandi, come sarebbe da aspettarsi in funzione della nota relazione tra area e numero di specie, ma in Liguria, per il fatto che questa regione appartiene sia alla zona mediterranea che a quella centroeuropea ed alpina e presenta in poche decine di chilometri una notevole variazione altitudinale. La densità umana non sembra influenzare la diversità floristica almeno a livello regionale.

Le percentuali dei corotipi e delle forme biologiche nelle flore delle Regioni rappresentano modelli a cui riferirsi nell'analisi dei dati di superfici più piccole, per esempio a scala provinciale e di massiccio montuoso e sono state particolarmente utili nell'interpretazione delle caratteristiche fitoecologiche della penisola (PIGNATTI 1994).

In particolare si osserva che le percentuali di emicriptofite e di terofite risultano praticamente complementari, in quanto le prime nelle regioni settentrionali variano nell'ambito 40-50% (fig. 4.2), e scendono a 28-35% nelle regioni meridionali; le terofite (fig. 4.3), invece, si concentrano al sud (33-50%) e sono meno frequenti al settentrione (20-28%). La zona biogeografica mediterranea include le isole e la porzione meridionale della Penisola fino al Lazio; la zona biogeografica continentale comprende le Alpi e la Padania fino al Po. Le altre regioni costituiscono una fascia a carattere di transizione nella zona settentrionale della Penisola

Utilizzando flore locali è stato possibile ottenere delle indicazioni più dettagliate: le emicriptofite raggiungono il loro massimo sulle catene più elevate delle Alpi mentre le terofite prevalgono in Sicilia, Sardegna e Puglia. Le geofite appaiono legate alla fascia dei boschi misti a caducifoglie e delle faggete, con una certa prevalenza sul versante tirrenico.

Territorio	N° sp.	Sup. kmq.	Pop	Sp./1000 Kmq	Ab./kmq
Liguria	2997	5421	1645272	55,29	303,5
Piemonte	2931	25399	4291783	11,54	169,0
Toscana	2826	22993	3525470	12,29	153,3
Lombardia	2800	23861	8974178	11,73	376,1
Veneto	2750	18379	4463166	14,96	242,8
Trentino-Alto Adige	2551	13607	922209	18,75	67,8
Lazio	2513	17207	5231934	14,60	304,1
Sicilia	2488	25707	5106740	9,68	198,7
Abruzzi e Molise	2428	15233	1604419	15,94	105,3
Campania	2428	13595	5804574	17,86	427,0

Territorio	N° sp.	Sup. kmq.	Pop	Sp./1000 Kmq	Ab./kmq
Friuli (escl. Trieste)	2397	7632	933302	31,41	122,3
Emilia-Romagna	2377	22123	3943105	10,74	178,2
Calabria	2325	15080	2072739	15,42	137,4
Basilicata	2279	9992	609884	22,81	61,0
Marche	2101	9694	1449123	21,67	149,5
Puglia	2092	19363	4091594	10,80	211,3
Sardegna	2028	24090	1662294	8,42	69,0
Umbria	1935	8456	830693	22,88	98,2
Prov. Trieste	1703	212	251312	803,30 (*)	1185,4
Roma (dentro il GRA)	1240	440	2700000	363,64 (*)	8181,8

Tabella n. 4.2: Ricchezza e densità floristica e demografica delle regioni italiane (su dati di Pignatti, 1994, e Annuario de Agostini 1999). (*) = dati statisticamente non significativi.

	F	I	E	G	H	CH	NP	P
Friuli	21,1	2,7	0,4	13,4	47,1	6,5	2,6	6,1
Veneto	23,9	3,1	0,5	12,7	45,3	6,7	2,4	5,6
Trentino-Alto Adige	20,1	2,6	0,4	12,6	49,1	7,1	2,7	5,6
Lombardia	23,1	3,2	0,3	12,4	46,5	6,5	2,5	5,5
Piemonte e Valle d'Aosta	22,4	2,9	0,4	12,1	47,3	7,2	2,6	5,2
Liguria	26,7	1,8	0,4	13,1	41,5	7,6	2,9	5,8
Emilia-Romagna	28,3	3,1	0,3	13,6	40,4	4,6	2,5	6,5
Toscana	30,7	2,7	0,5	14,1	37,5	6,2	3,5	5,8
Marche	29,7	1,5	0,4	13,8	39,2	6,5	2,2	6,9
Umbria	30,1	2,3	0,2	13,1	40,2	5,6	2,3	6,5
Lazio	33,1	2,7	0,3	13,3	35,6	6,3	2,4	6,2
Abruzzi e Molise	29,2	1,4	0,3	13,1	41,1	6,7	2,6	5,9
Campania	33,9	2,2	0,3	13,1	34,1	6,9	2,7	6,8
Puglia	37,8	1,9	0,2	13,5	30,2	6,6	2,8	6,9
Basilicata	34,1	1,5	0,3	13,2	35,9	5,7	2,4	6,9
Calabria	34,3	1,4	0,2	13,5	34,1	6,7	2,9	6,7
Sicilia	38,5	2,4	0,4	12,3	28,1	8,2	3,6	6,7
Sardegna	39,9	2,8	0,3	12,2	28,1	7,1	3,5	6,3

Tabella n.4.3: Percentuali delle forme biologiche nelle regioni italiane (da Pignatti 1994).

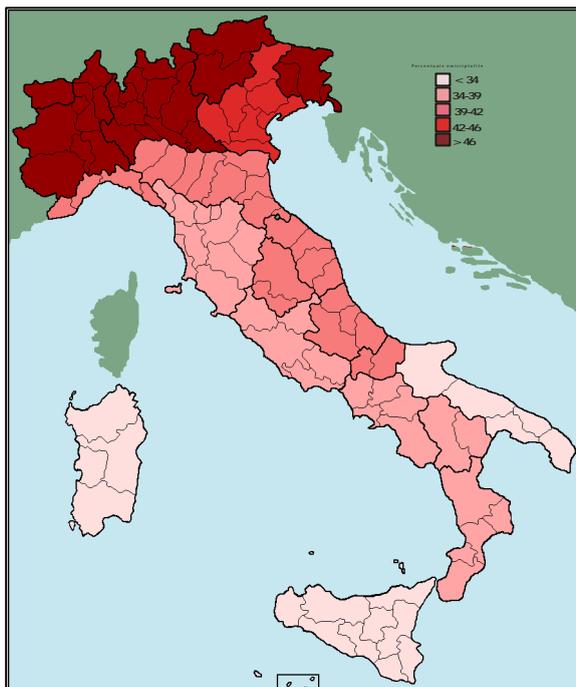


Figura n. 4.2: Percentuale di emicriptofite per regione.

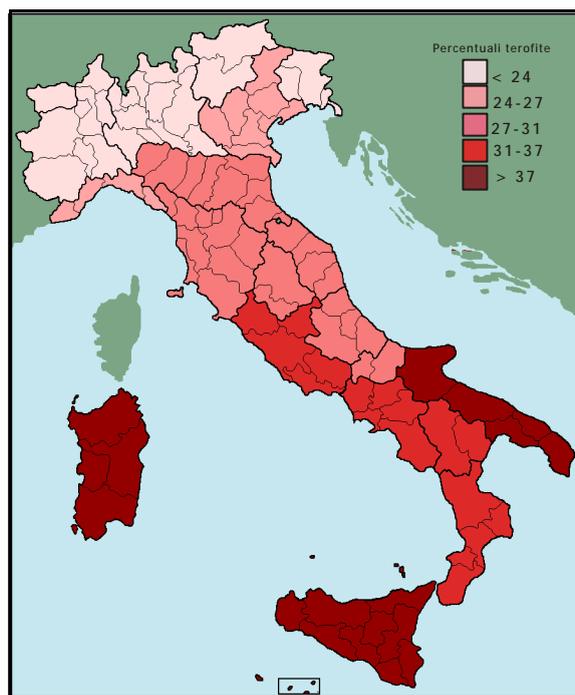


Figura n. 4.3: Percentuale di terofite per regione.

Un discorso analogo vale per l'incidenza dei corotipi nelle varie regioni (Tabella 4.4).

La distribuzione di eurasiatiche, in particolare delle specie ad areale centroeuropeo (Figura 4.4), e stenomediterranee (Figura 4.5) segue gradienti analoghi a quelli di

emicriptofite e terofite mostrando il legame delle forme biologiche dominanti con le condizioni climatiche.

Utilizzando questi dati, la flora con carattere di mediterraneismo (stenomediterranee 11-30%) verso Nord fino allo spartiacque dell'Appennino Tosco-Emiliano ed anche in Liguria. Corrispondentemente, la flora boreale (centroeuropree con frequenza superiore al 10%) caratterizza le regioni settentrionali con l'eccezione della Liguria (vedi anche fig. 4.6).

Per quanto riguarda le endemiche, rappresentano a livello nazionale il 13 % del totale. Si tratta di specie a distribuzione ristretta (spesso a livello di catena montuosa) e in pericolo di estinzione. Sono più numerose nella catena alpina, per l'effetto di isolamento geografico dovuto ai nunatakker di età glaciale, sui promontori costieri (genere *Limonium*) per l'alternarsi di ingressioni e trasgressioni dovute alle glaciazioni e alle vicissitudini tettoniche, sulle isole per l'isolamento geografico.

	Endemiche	Stenomediterranee	Eurimediterranee	Mediterraneo-Montane	Eurasiatriche	Atlantiche	Orofite sudeuropee	Settentrionali	Cosmopolite
Friuli	2,8	2,4	11,8	3,3	32,9	2,8	14,5	14,9	12,3
Veneto	3,3	3,8	12,1	2,7	30,8	3,5	13,8	14,3	13,6
Trentino-Alto Adige	4,1	1,5	9,8	2,5	32	2,6	17,2	16,7	11,1
Lombardia	3,4	2,6	10,7	2,7	30,5	3,8	15,4	14,9	13,5
Piemonte	3,8	3,2	10,7	3,6	29,7	4,3	14,6	14,4	13,1
Liguria	3,7	13,9	12,6	4,1	25,6	4,3	10,7	10,9	12,3
Emilia Romagna	5,3	12,9	15,2	6,4	27,8	3,2	7,5	8,4	11,3
Toscana	3,9	17,2	13,7	3,8	26	5	6,5	9,4	13,4
Marche	3,9	12,8	16,4	4,8	29,2	3,6	6,6	8,4	12,3
Umbria	3,9	11,4	16,9	4,5	30,3	3	6,7	8,5	12,5
Lazio	4	18,5	14,8	4,7	25,8	4,3	5	7,3	14,1
Abruzzi e Molise	5,3	12,9	15,2	3,4	27,8	3,1	7,5	8,4	11,3
Campania	5,5	20,6	15,4	5,5	24,2	4	4,2	6,3	12,6
Puglia	3,5	25,4	17,5	5,2	22,7	3,7	1,6	5	13,5
Basilicata	5,3	20	16,2	6,1	25	3,7	3,7	6,3	12
Calabria	6,1	23,1	15,3	6,2	22,3	3,6	3,5	6	11,9
Sicilia	7,6	29,4	14,8	5,4	16,8	4,2	1,1	3,7	15,9
Sardegna	7,1	28,9	16,1	4,1	17,2	5,5	0,9	4,1	14,3

Tabella n. 4.4: Percentuali dei corotipi nelle regioni italiane (da Pignatti 1994).

Da queste misure è possibile definire il confine biogeografico che attraverso l'Italia, come esposto alla figura 4.7. Esso include la Liguria nell'area mediterranea e per il resto decorre al limite tra Toscana ed Emilia, per raggiungere l'Adriatico tra Pesaro e Ancona.

Il parallelismo tra forme biologiche e distribuzione corologica è esemplificato dal seguente grafico i cui dati si riferiscono a alcune regioni italiane di area comparabile e disposte secondo un gradiente N-S. Le specie caratterizzanti la zona mediterranea sono in particolare le terofite scapose.

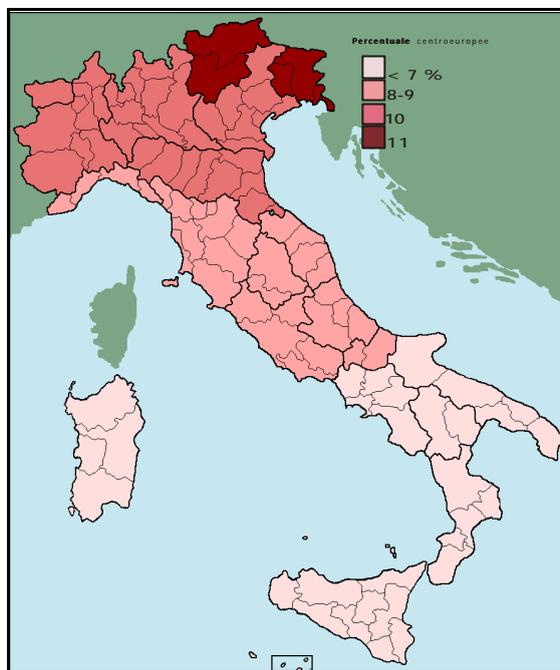


Figura n. 4.4: Distribuzione delle specie centroeuropee per regione.

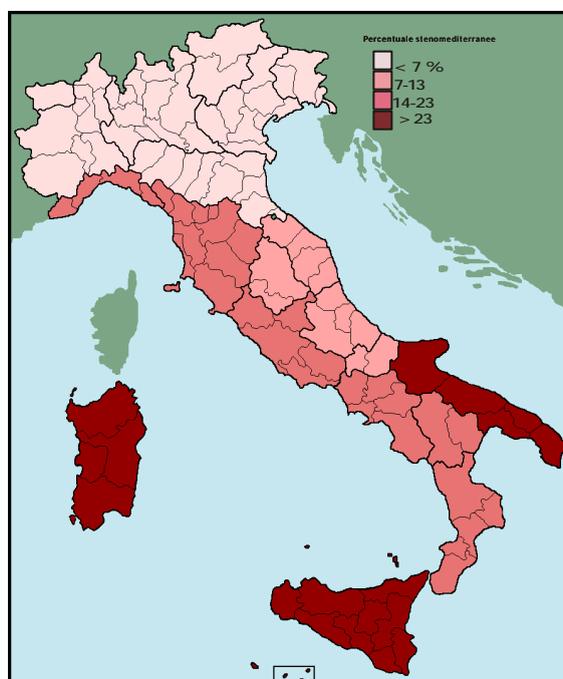


Figura n. 4.5: Distribuzione delle specie stenomediterranee per regione.

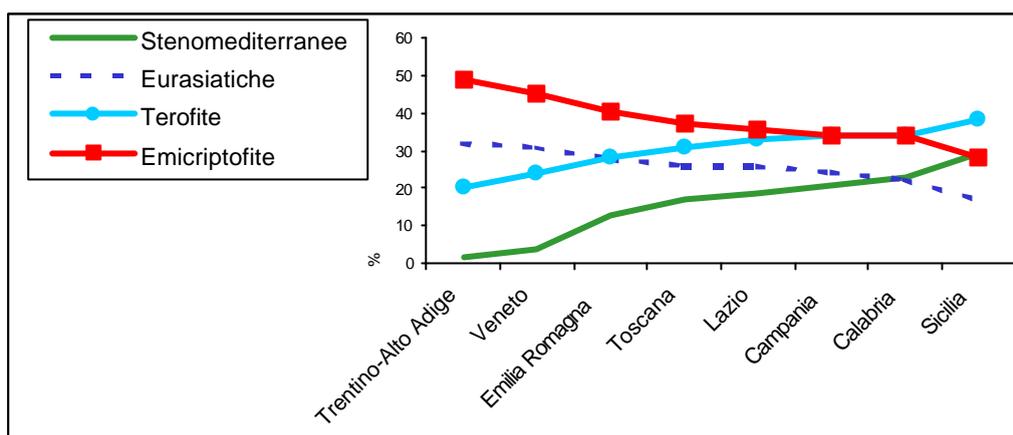


Figura n. 4.6: Variazione forme biologiche e tipi corologici secondo un gradiente N-S.

Il territorio italiano può dunque venire riferito a due zone fitogeografiche corrispondenti a due principali macroregioni bioclimatiche: la mediterranea (zona IV di Walter) e la medioeuropea o centroeuropea (zona V di Walter). La zona centroeuropea, temperata, è più fredda e umida, quella mediterranea più calda e secca e caratterizzata da una marcata aridità estiva. Il limite che separa le due zone è un importante limite ecologico tra termobioclimi (con periodo freddo più o meno prolungato) e pluviobioclimi (con periodo arido più o meno prolungato) secondo la classificazione di ROBYNS (1969) basata sui fattori limitanti la crescita delle piante. Tuttavia nella zona peninsulare la presenza di una catena montagnosa relativamente elevata, favorendo la condensazione del vapore acqueo, determina condizioni ecotonali già a poca distanza dalla costa cosicché, considerando le condizioni climatiche dei massicci montuosi Appenninici e delle valli tra essi comprese, buona parte della penisola può essere considerata una fascia di transizione. Inoltre procedendo verso sud le temperature medie si avvicinano al limite dei bioclimi subtropicali aridi complicando ulteriormente il quadro. La presenza di specie e vegetazioni caratteristiche può però fornire informazioni per la determinazione delle caratteristiche climatiche di un dato territorio e delle variazioni al suo interno.

Abbastanza simili sono i criteri per la definizione di “zone biogeografiche” per l’Europa secondo la direttiva habitat. Si tratta di una classificazione importante che viene ripresa in molti documenti ufficiali dell’ UE.

Macroregione bioclimatica	Centroeuropea	Mediterranea
Temperature medie annue	12-14 °C	14-18 °C
Precipitazioni	650-1000 mm	400-800 mm
Periodo di aridità	manca	estivo (70-90 gg)
Vegetazione potenziale	Bosco caducifoglio di latifoglie (Quercio-Fagetea)	Bosco sempreverde di latifoglie (Quercetea ilicis)
Tipo corologico caratteristico	Euroasiatico	Stenomediterraneo
Forma biologica più numerosa	Emicriptofite	Terofite

Tabella n. 4.5: Zone biogeografiche.

La vegetazione potenziale della zona centroeuropea è il bosco a caducifoglie (*Quercio-Fagetea*), prevalentemente di querce che per degrado può essere trasformato in cespuglieto (*Rhamno-Prunetea*) e quindi in prateria ad emicriptofite (*Molinio-Arrhenateretea*, *Festuco-Brometea*). Nella zona mediterranea la vegetazione potenziale è rappresentata dal bosco a sempreverdi (*Quercion ilicis*), principalmente a Leccio, nelle zone più oceaniche (mesomediterraneo) e dalla macchia a Olivo e Carrubo (*Oleo-Ceratonion*) nei distretti più aridi (termomediterraneo). La successione di degrado del bosco mediterraneo, passando attraverso la macchia e la gariga a Cisti ed Eliche (*Cisto-Lavanduletea*) su suoli acidi o a Rosmarino (*Ononido-Rosmarinetea*) su suoli basici, termina con le praterie a terofite (*Thero-Brachypodietea* e *Tuberarietea*), spesso a carattere stagionale.

Un tipo di vegetazione zonale può sporadicamente presentarsi anche al di fuori della sua area biogeografica: ad esempio in Italia la lecceta, oltre che nelle zone a clima tipicamente mediterraneo si presenta anche presso Chioggia, nel bosco della Mesola, nei colli Euganei e in poche località presso Udine riferibili al clima centroeuropeo, mentre il *Quercio-Ulmetum*, bosco umido della zona centroeuropea, si ritrova extrazonale nelle paludi superstiti del litorale Tirrenico: si tratta nel primo caso di relitti della fase calda post-glaciale che si sono localmente mantenuti per particolari condizioni mesoclimatiche, nel secondo altresì di testimonianze di periodi climatici più freschi e umidi. L'osservazione della vegetazione potenziale deve sempre accompagnarsi a uno studio climatico per un'esatta interpretazione, soprattutto se per azione antropica non è possibile osservare zone in condizioni naturali tali da poter definire il complesso di vegetazione a cui una data formazione è inserita.



Figura n. 4.7: Le zone biogeografiche italiane: in alto la centroeuropea, in basso la mediterranea.

Oltre a queste due zone in Italia si possono riconoscere altri 3 tipi climatici diffusi su aree ristrette e caratterizzati anch'essi da specie e formazioni caratteristiche:

- Valli del Pino silvestre: si tratta di valli centroalpine quali Val di Susa, Val d'Aosta, Valtellina, Val Venosta, Val Pusteria, Val Fella disposte lungo il parallelo e caratterizzate da un'elevata continentalità. Il clima è caratterizzato da inverni rigidi con temperature minime fino a $-20-30$ °C ed estati calde e talvolta afose. La vegetazione è caratterizzata dalle foreste di *Pinus sylvestris*, tipica specie euroasiatica delle zone ad elevata continentalità (fig.4.8);
- Insubria: comprende i grandi laghi prealpini (Garda, Como, Iseo, Maggiore, Lugano) ed è caratterizzata da un'elevata oceanicità con clima mite durante tutto l'anno. Vi si possono condurre coltivazioni tipicamente mediterranee quali l'olivo e i limoni e sono frequenti le leccete;
- Etna: sopra i 2000 metri vi si possono identificare condizioni ecologiche simili al deserto di altitudine a causa della permeabilità del suolo composto essenzialmente di coltri di lava e lapilli.

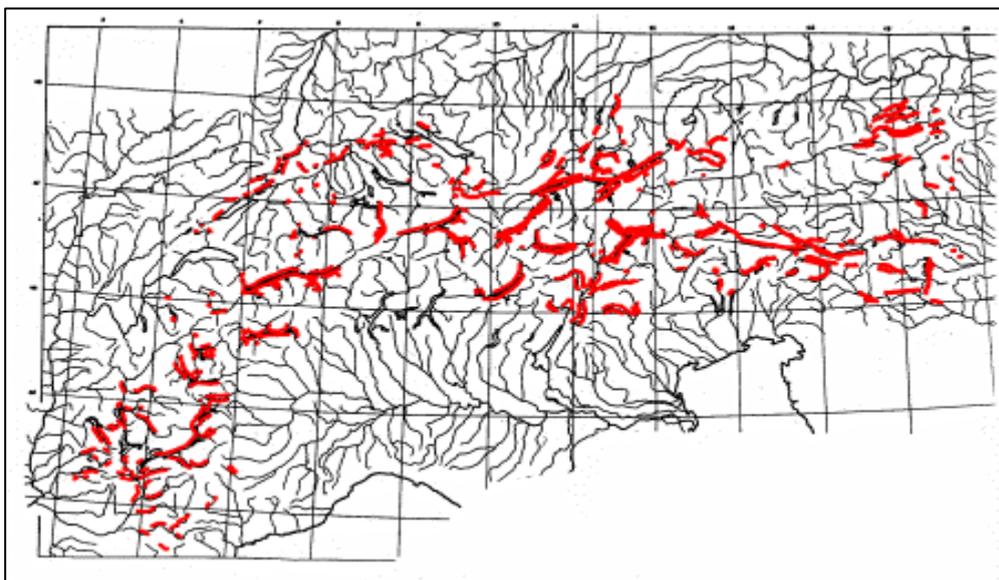


Figura n 4.8: Le pinete a *Pinus sylvestris* (in nero) delle Alpi sono concentrate nelle vallate disposte nel senso dei paralleli, che hanno un clima continentale.

4.4 Relazioni topografiche ed ecosistemiche

Un ecosistema è caratterizzato da ben determinate caratteristiche di flora, fauna, reti trofiche, diversità, stabilità, stadi successionali e da complessi legami con le condizioni edafiche ed il suo studio onnicomprensivo è spesso estremamente complesso.

Il livello floristico e vegetazionale rappresenta un tramite tra la componente biotica e quella abiotica: la produzione primaria autotrofa è infatti dipendente principalmente da disponibilità di luce, acqua, calore e sostanze minerali. A determinate caratteristiche di

questi fattori corrispondono ben individuabili formazioni vegetali potenziali con la loro peculiare flora e fauna. A sua volta la vegetazione stessa modifica le condizioni microclimatiche attraverso processi di differenziazione strutturale e accumulo nel suolo di sostanza organica. In Italia a scala topografica i fattori mesoclimatici possono variare molto rapidamente; la possibilità di indicizzare specie e associazioni vegetali permette interpretazioni microclimatiche indipendenti dalla disponibilità di costose strumentazione e lunghe misurazioni.

La presenza di gradienti legati all'altitudine permette di identificare unità territoriali caratterizzate da un proprio bioclina e da una propria vegetazione definiti come *fasce altitudinali*. In parte le fasce altitudinali ripetono le caratteristiche dei biomi corrispondenti alle diverse latitudini ma in Italia le caratteristiche peninsulari con notevoli movimenti di correnti di aria umida di origine marina rendono il quadro più complesso. Inoltre le vicende climatiche e geologiche hanno portato a flussi di specie di diversa origine con una notevole differenziazione geografica della flora.

Le fasce altitudinali dal punto di vista floristico e vegetazionale variano quindi notevolmente a seconda della zona climatica. In Italia possiamo individuare importanti caratterizzazioni delle fasce corrispondenti all'estensione latitudinale, alle caratteristiche climatiche locali, alla diversa estensione in altezza delle catene montuose presenti ed alla composizione floristica:

- FASCIA NIVALE: vegetazione erbosa o a suffrutici nelle zone periodicamente scoperte almeno nel periodo estivo tra le nevi perenni alpine;
- FASCIA ALPICA: pascolo e brughiera di alta quota delle Alpi;
- FASCIA IRANONEVADENSE: associazioni ad arbusti emisferici spinosi dell'Etna, Nebrodi e Gennargentu;
- FASCIA MEDITERRANEO MONTANA: pascoli di alta quota degli Appennini;
- FASCIA BOREALE: boschi subalpini ad aghifoglie;
- FASCIA SUBATLANTICA: boschi di faggio;
- FASCIA CENTROEUROPEA: boschi di querce a gravitazione euroasiatica (Appennino settentrionale, Prealpi);
- FASCIA SANNITICA: boschi di querce a gravitazione anfiadriatica (Appennino centromeridionale);
- FASCIA COLCHICA: boschi di latifoglie caducifoglie con sempreverdi di clima temperato (Sicilia);
- FASCIA MEDITERRANEA: bosco a latifoglie sempreverdi (zone planiziarie, collinari e submontane con marcata aridità estiva);
- FASCIA MEDITERRANEO ARIDA: macchia a latifoglie sempreverdi (coste meridionali, Sicilia e isole minori).

Nella tabella seguente vengono indicate l'estensione altitudinale, le specie e le formazioni vegetali maggiormente caratteristiche di alcuni territori italiani. Nel centro-Sud la fascia centroeuropea viene sostituita dalle fasce sannitica e colchica per evidenti differenze nella distribuzione delle specie guida e dei tipi corologici rilevabili nelle comunità climax e subclimax: nel centro-sud troviamo boschi a dominanza di *Quercus frainetto* e *Quercus cerris* molto simili a livello strutturale e specifico ai boschi Balcanici permettendo la definizione della fascia sannitica per le sue caratteristiche

anfiadriatiche. La Sicilia è stata altresì area di rifugio durante le glaciazioni per molte specie sempreverdi di clima temperato scomparse o quasi nel resto della Penisola che permettono di identificare una fascia colchica.

ALPI ORIENTALI						
Alt.	Fascia	Struttura	Indicatori Ecologici	Indicatori statistici	Forma biologica dominante	Tipi corologici caratteristici
> 2500	nivale	Vegetaz. discontinua	Nessuna	Androsacetum, Thlaspietum, Oxyrietum dyginae	Camefite	Artico-Alpine
2200-2500	alpica	Pascolo	Sesleria varia, Carex curvula, Festuca halleri	Curvuletum Festucetum halleri Seslerio-Caricetum sempervirentis	Emicriptofite	Orofite Sudeuropee
1300-2200	boreale	Foresta di aghifoglie	Picea abies, Larix decidua, Pinus cembra	Larici-Pinetum cembrae Homogyno-Piceetum	Emicriptofite, Fanerofite	Circumborelali
800-1300	subatlantica	Foresta caducifoglia	Fagus sylvatica, Abies alba	Luzulo-Fagetum	Geofite, Emicriptofite Fanerofite	Eurasiatiche
0-800	centroeuropea	Foresta caducifoglia	Quercus robur, Q. petraea	Galio-Carpinetum, Orno-Ostryetum	Fanerofite Emicriptofite Geofite	Eurasiatiche

APPENNINO CENTRO MERIDIONALE						
Alt.	Fascia	Struttura	Indicatori Ecologici	Indicatori statistici	Forme biologiche dominanti	Tipi corologici dominanti
> 2600	nivale	Vegetazione discontinua				
2300-2500	Alpica (relitta)	Pascolo	Elyna myosuroides	Leontopodio-Elynetum, Caricetum kitaibelianae-rupestris	Camefite Emicriptofite	Orofite Sud europee Mediterraneo-montane
2000-2400	mediterraneo-altimontana	Pascolo	Sesleria tenuifolia	Seslerietum apenninae		Mediterraneo-Montane Endemiche
1300-2000	subatlantica	Foresta caducifoglia	Fagus sylvatica	Polysticho-Fagetum	Geofite Emicriptofite Fanerofite	Eurasiatiche
600-1300	sannitica	Foresta caducifoglia	Quercus cerris, Q. frainetto,	Physospermo-Quercetum frainetto	Fanerofite	Eurasiatiche Eurimed.
0-600	mediterranea	Foresta sempreverde	Quercus ilex	Orno-Quercetum ilicis	Fanerofite	Stenomed. Eurimed.

MADONIE - ETNA						
Alt.	Fascia	Struttura	Indicatori Ecologici	Indicatori statistici	Forme biologiche dominanti	Tipi corologici caratteristici
> 2000	irano-nevadense	Arbuti spinosi	Astragalus sp.pl	Astragaletum siculi	Camefite Emicriptofite	Endemiche
1600-2000	subatlantica	Foresta caducifolia	Fagus sylvatica	Aquifolio-Fagetum	Geofite Emicriptofite Fanerofite	Eurasiatiche
1000-1600	colchica	Foresta mista (sempreverde e caducifoglie)	Ilex aquifolium, Pinus laricio, Quercus sp. pl., Buxus sempervirens	Ilici-Quercetum petraeae	Emicriptofite Fanerofite	Eurasiatiche Eurimed.
300-1000	mediterranea	Foresta sempreverde	Quercus ilex	Teucro-Quercetum ilicis	Fanerofite,	Stenomed. Eurimed.
0-300	mediterranea arida	Macchia sempreverde	Olea oleaster, Chamaerops humilis	Oleo-Lentiscetum	Fanerofite, Nanofanerofite	Stenomed.

Tabella n. 4.6: Fasce altitudinali in Italia.

Le variazioni altitudinali si accompagnano a variazioni nella frequenza di tipi corologici e forme biologiche: ad esempio si è osservato un aumento delle camefite nelle fasce elevate delle montagne alpine e di emicriptofite procedendo verso le vette. Le geofite sono in particolare legate alla fascia del bosco caducifoglio e della faggeta: una loro scarsità nelle aree pertinenti o in un complesso forestale è normalmente sintomo di degrado. Le terofite possono indicare estremo degrado o mediterraneismo.

4.5 Fasce altitudinali

Gli indici di Ellenberg relativi a temperatura, umidità e nutrienti, calcolati per alcune associazioni climax su transetti relativi a montagne rappresentative mostrano in modo eloquente le variazioni delle condizioni ambientali.

Si possono ben osservare le differenze tra i valori dell'indicatore di temperatura e di nutrienti dovute alla diversa zona fitogeografica, esemplificative delle variazioni macroclimatiche. Le temperature nella zona centroeuropea sono più basse e i suoli si mantengono fertili anche alle quote inferiori rispetto alla mediterranea. Sull' Etna le condizioni climatiche al di sopra dei 2000 metri sono estremamente aride mentre sulle Dolomiti le formazioni di alta quota, comprese quelle dei ghiaioni, hanno un indice di umidità relativamente elevato. L'optimum di nutrienti ed umidità si registra in entrambi i casi nella fascia subatlantica. Procedendo nelle fasce mediterranea e mediterraneo-arida si osserva in particolare come l'aumento della temperatura si accompagni a una notevole diminuzione dell'umidità e dei nutrienti. Variazioni temporali degli indici, disponendo di rilevamenti periodici nelle stesse stazioni, possono essere analizzate e interpretate in funzione di variazioni climatiche ed edafiche.

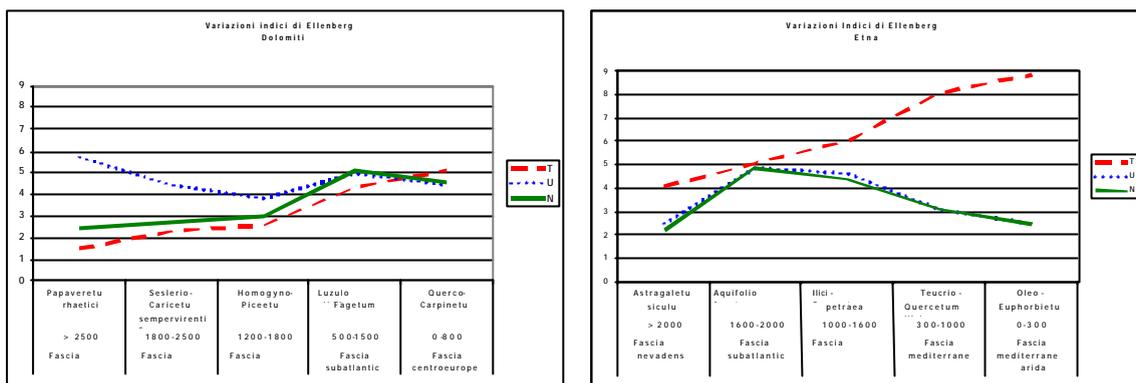


Figura n. 4.9: Variazioni degli Indici di Ellenberg nelle zonazioni altitudinali delle Dolomiti e dell'Etna. T=temperatura, U=umidità, N=nutrienti.

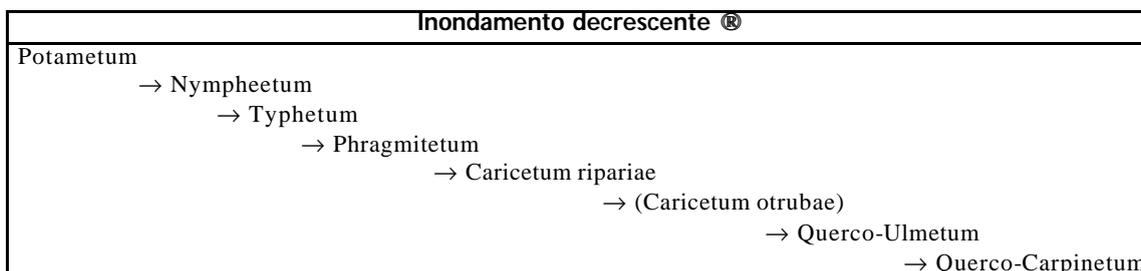
In Italia il territorio è quanto mai accidentato presentando solo nel Nord una pianura di estese dimensioni. Alle variazioni geomorfologiche si accompagna una grande varietà di substrati corrispondenti a una situazione geologica piuttosto complessa con estesi sovrascorrimenti di rocce metamorfiche e sedimentarie e complessi vulcanici di varie età geologiche e composizione chimica. Questa varietà, insieme alle condizioni meso e microclimatiche, determina spesso, anche a pochi chilometri di distanza, notevoli variazioni ecologiche ed è una delle cause dell'elevata ricchezza floristica e vegetazionale di molte regioni e aree protette italiane. A livello locale la presenza di valli determina inoltre notevoli differenze tra i versanti e tra di essi e il fondovalle a seconda dei gradienti di altitudine e dell'orientamento.

A causa delle caratteristiche ecotonali, soprattutto della zona peninsulare, questi fattori permettono la convivenza nella stessa località di formazioni vegetali riferibili a differenti biomi e ben caratterizzabili dalla percentuale di forme biologiche, tipi corologici e indici di Ellenberg. Nella zona Tirrenica e lungo l'Appennino umbro-marchigiano, ad esempio, il bosco di caducifoglie e il bosco a sempreverdi possono convivere a poca distanza l'uno dall'altro distribuendosi la dominanza in funzione di modeste variazioni microclimatiche dovute a falda, esposizione e suoli. Nelle Alpi ugualmente a scala topografica si possono distinguere valli continentali aride disposte lungo i paralleli dominate dal Pino silvestre e valli umide a clima suboceanico disposte longitudinalmente ed esposte all'azione mitigatrice mediterranea caratterizzate dalla faggeta.

4.6 Zonazione lungo un gradiente di umidità

Anche la variazione della falda è responsabile di brusche variazioni della flora e della vegetazione: gli ambienti umidi, rappresentano uno degli ambienti a più elevata diversità proprio per l'esistenza di gradienti legati alla falda che portano al susseguirsi di associazioni di diversa struttura dal permanentemente umido all'asciutto secondo tipiche serie.

Tipica è la serie di inerramento dei laghi diffusa in Italia settentrionale ed Europa centrale caratterizzata da comunità spesso paucispecifiche che possono trovarsi associate in poche decine di metri quadri:



La serie si accompagna, con il variare della profondità dell'acqua, a variazioni delle forme biologiche dominanti: ad uno stadio ad idrofite segue uno stadio a geofite ed elofite ed infine la fase a fanerofite rappresentata dal bosco a caducifoglio. Da notare l'andamento delle geofite che diminuiscono fino al *Quercu-Ulmetum* per poi aumentare nuovamente nel *Quercu-Carpinetum*: le geofite rizomatose delle zone inondate vengono progressivamente sostituite dalle geofite bulbose di foresta. Analizzando comunità in condizioni naturali e prossimonaturali è possibile creare modelli utili per il recupero di situazioni degradate e per l'interpretazione dei complessi paesistici.

Le serie di inerramento si caratterizzano per la predominanza di specie a a larga distribuzione nelle comunità tipicamente acquatiche. Procedendo nella serie verso le comunità più complesse e asciutte i tipi corologici dominanti diventano quelli delle formazioni climax, tipicamente coerenti con le condizioni macroclimatiche. Nell'esempio le specie acquatiche a larga distribuzione vengono sostituite da specie eurasiatiche tipiche della zona centroeuropea.

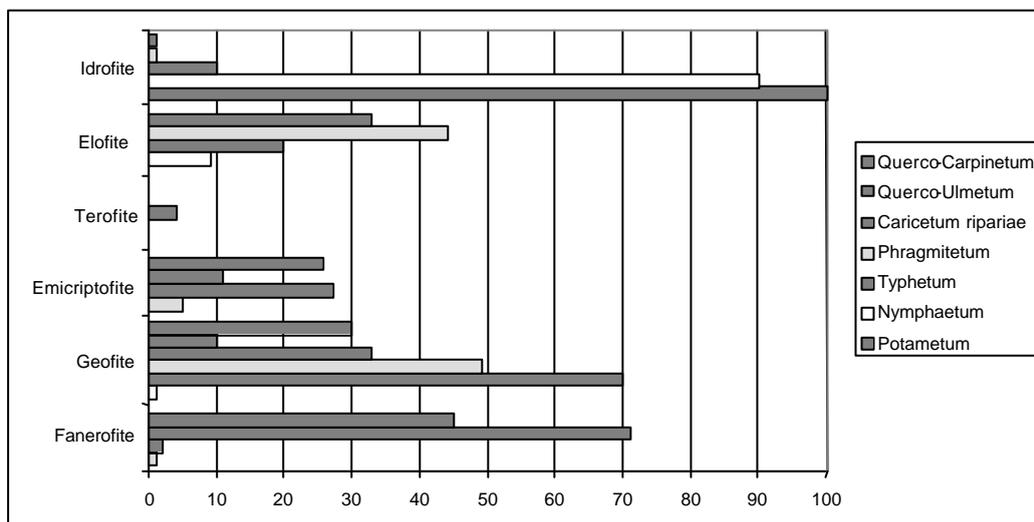


Figura n. 4.10: Percentuali ponderate per copertura delle forme biologiche nella serie di inerramento centroeuropea (elab. Bianco dati da Rodwell 1990, 1995).

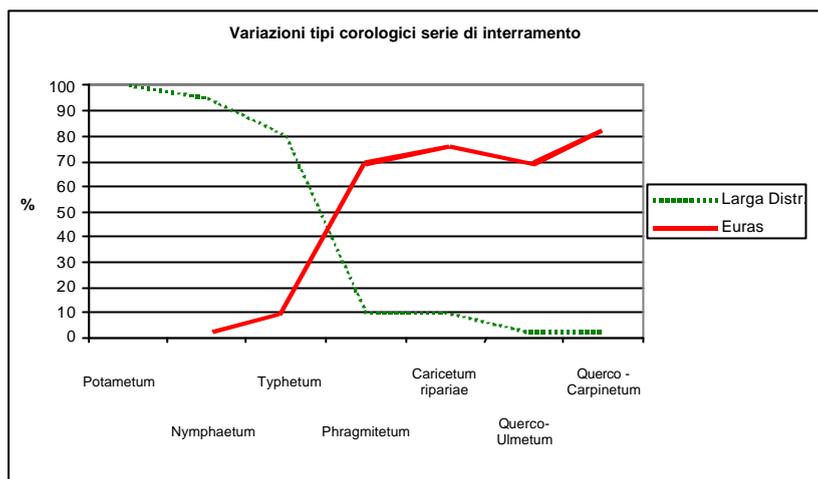


Figura n. 4.11: Variazioni percentuali (ponderate) delle specie eurasiatiche e a larga distribuzione nelle serie di interrimento (Bianco da Rodwell, come fig. 4.10).

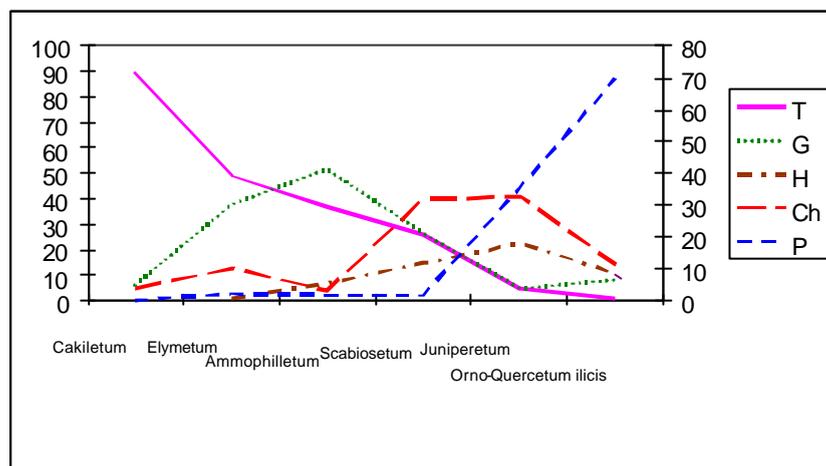


Figura n. 4.12: Variazione delle forme biologiche nella serie litoranea del litorale Veneto.

4.7 Zonazione sui litorali sabbiosi

Le dune costiere rappresentano un'altro ambiente caratterizzato da un rapido mutamento dei gradienti e, nei pochi posti ove questo si è mantenuto lungo le coste Italiane, è possibile osservare variazioni di associazioni a scala spesso di poche centinaia di metri. L'esempio si riferisce alle dune del Litorale Veneto (PIGNATTI 1959).

Si può osservare (figura 4.13) come anche in questo caso ogni associazione sia caratterizzata dalla dominanza di una forma biologica: in caso di stabilità o avanzamento della costa all'evoluzione dei suoli passando dalle dune embrionali, alle

dune mobili e infine a quelle consolidate corrispondono notevoli variazioni strutturali della vegetazione evidenziati dalle forme biologiche dominanti.

Nelle coste meridionali e occidentali della penisola gli ultimi tre stadi sono rappresentati dal *Crucianelletum*, dall'*Asparago acutifolii-Juniperetum macrocarpae* e dal *Viburno-Quercetum ilicis* ma l'andamento delle forme biologiche rimane analogo.

<i>Distanza crescente dal mare</i> ®		
Dune Embrionali	Dune mobili	Dune consolidate
Terofite	Geofite	Fanerofite
<i>Salsolo kali-Cakiletum maritimae</i> <i>Echinophoro spinosi-Elymetum farcti</i>	<i>Echinophoro spinosae-Ammophiletum arundinaceae</i> <i>Tortulo ruralis-Scabioisetum gramuntietum</i>	<i>Juniperuscommunis-Hippophaetumfluviatilis</i> <i>Orno-Quercetum ilicis</i>

Questi ambienti ad alta diversità sono naturalmente vulnerabili alle attività umane quali bonifiche e sviluppo turistico. In molte zone permangono solo mosaici, frammenti e addirittura singole specie. La permanenza di specie guida delle associazioni potenziali può però guidare eventuali esperienze di recupero ambientale permettendo di ricostruire la serie in base ai campioni superstiti. La possibilità di costruire modelli strutturali permette la ricostruzione delle serie anche ove sono scomparse e il loro recupero ove siano danneggiate o interrotte utilizzando, in funzione della distanza dal mare, le specie dominanti di ciascuna fase.

4.8 Zonazione causata da discontinuità topografiche

A livello topografico anche la forma delle valli e la loro larghezza conduce a variazioni delle condizioni ambientali che, nel caso dei canyon e delle forre, può portare alla convivenza, procedendo dalla base verso la sommità, di comunità ecologicamente molto differenti.

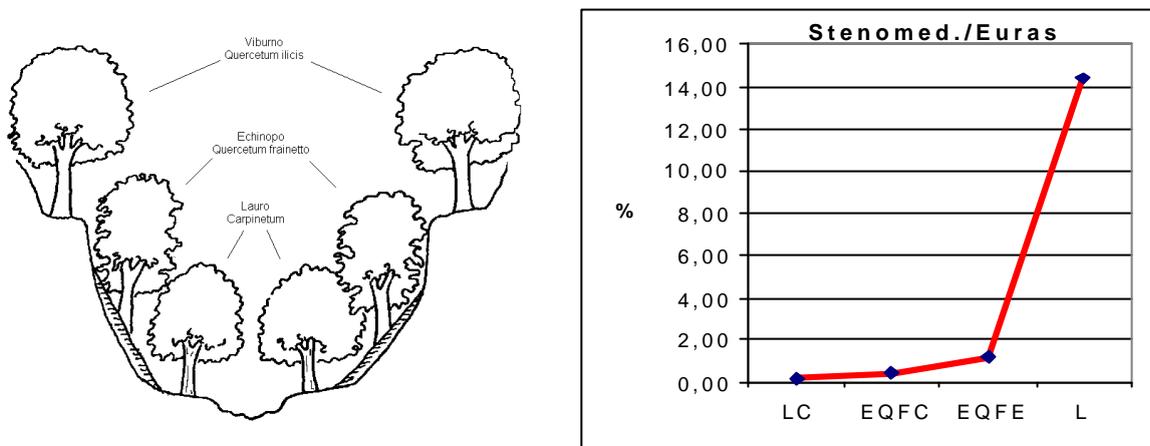
Esemplificativa la serie delle forre presente nella Tuscia e nella Campagna Romana (Figura 4.13): si tratta di stretti valloni scavati nelle vulcaniti, profondi da poche decina a un centinaio di metri, ove si hanno rapidi cambiamenti delle associazioni corrispondenti a ben determinati gradienti. In particolare si ha un'inversione rispetto alle variazioni altitudinali osservabili altrove con l'associazione più xerofila posizionata in alto: dal fondo verso la parte superiore della forra diventa via, via più arido il substrato e si ha quindi un gradiente di mediterraneità. Notevole la variazione bosco a laurifille → bosco a caducifoglie → bosco a sempreverdi che sembrerebbe testimoniare una tensione climatica tra ben tre biomi: in realtà il bosco a laurifille è extrazonale ed è riferibile alle condizioni permanentemente umide e riparate dai venti freddi degli ambienti in cui sviluppa mentre il bosco a caducifoglie e quello mediterraneo si distribuiscono in funzione del substrato: generalmente la lecceta su rupi prive di suolo o su suoli asciutti per buona parte dell'anno, il bosco a cerro e farnetto su suoli più umidi ed evoluti.

Nelle zone bioclimatiche mediterranee è possibile osservare la variazione della continentalità in ambienti di estensione ristrette utilizzando l'indice ottenuto dal rapporto ponderato (cioè considerando la copertura delle specie nei rilievi presi lungo un transetto) tra specie stenomediterranee ed eurasiatiche che, nel caso preso in

considerazione (figura 4.13), esprime in modo evidente il rapido aumento di mediterraneità procedendo verso l'alto della forra.

Variazioni delle associazioni dovute ai diversi substrati sui due versanti si possono osservare nella Val Trafoi (Figura 4.15) presso il passo dello Stelvio dove un versante è prevalentemente calcareo, l'altro prevalentemente siliceo.

Anche queste situazioni portano ad un alta diversità in aree spesso di pochi chilometri quadri. I modelli ottenuti mediante l'analisi delle zone conservate permettono l'interpretazione del grado di alterazione dovuto all'attività umana nelle zone disturbate in base alle variazioni delle specie e della struttura. Si hanno così modelli per il recupero ambientale e paesaggistico. L'utilizzo di transetti altitudinali favorisce l'identificazione di modificazioni climatiche mediante l'analisi delle fasce competenti a ciascuna associazione osservate ad intervalli periodici.



fondo della forra → cima della forra

Figura n. 4.13: Variazioni del rapporto *stenomediterranee/eurasiatiche* lungo la zonazione della vegetazione boschiva delle forre (Tuscia e campagna romana). (Da Pignatti et al., in pubbl.) LC=*Lauro-Carpinetum*, EQFC=*Echinopo-Quercetum frainetto carpinetosum*, EQFE=*Echinopo-Quercetum frainetto ericetosum*, L=*Viburno-Quercetum ilicis*.

4.9 Zonazione su scala regionale

Disponendo di una banca dati di opportune dimensioni per singole aree è possibile analizzare le variazioni dei tipi corologici e forme biologiche ed effettuare confronti tra le associazioni utili alla caratterizzazione dei sistemi paesistici, del meso e microclima e, più in generale, della diversità. Ad esempio lo studio dei boschi del Litorale Tirrenico permette di osservare (Figura 4.14) una regolare variazione delle specie stenomediterranee ed eurasiatiche dovuta principalmente alla variazione della falda e alla maturità dei suoli. Questi due fattori sono in sostanza, vista la modesta variazione mesoclimatica, interpretabili come causa della diversità dell'area in questione.

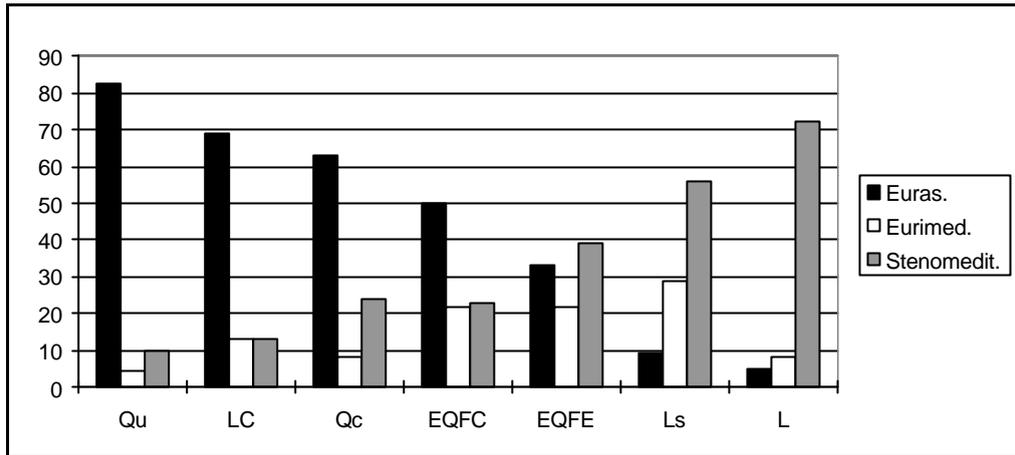


Figura n. 4.14: Frequenze dei corotipi nelle formazioni forestali del Litorale medio-Tirrenico ordinate dal più fresco-umido (a sinistra) al caldo-secco (a destra): QU=*Quercus-Ulmetum*, LC=*Lauro-Carpinetum*, QC=*Quercus-Carpinetum*, EQFC=*Echinopo-Quercetum frainetto carpinetosum*, EQFE=*Echinopo-Quercetum frainetto ericetosum*, Ls=*Viburno-Quercetum ilicis suberetosum*, L=*Viburno-Quercetum ilicis*.



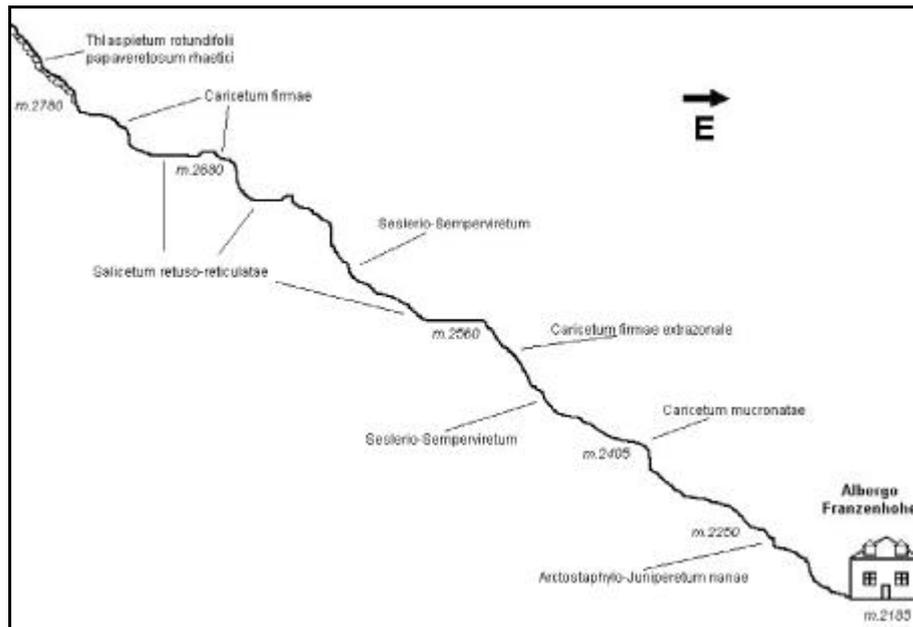


Figura n. 4.15: Differenze vegetazionali tra i due versanti della Valle del Trafoi: in alto versante siliceo, in basso calcareo.

L'azione umana ha agito e agisce sulle comunità vegetali naturali mediante incendio e pascolo determinando in gran parte del territorio nazionale situazioni a mosaico. Nel grafico di figura 4.16, la serie della sughera registrata a Castelporziano (Roma) esemplifica la modificazione nelle forme biologiche dominanti in una serie mediterranea: si passa dalla prateria a terofite su sabbia silicea, alla gariga a nanofanerofite (prevalentemente cisti), alla macchia a Erica e infine al bosco di sughera probabilmente suscettibile di ulteriore evoluzione. La serie può essere letta anche come successione di degrado (fase per fortuna appartenente al passato in questo caso) mediante taglio, incendio e pascolo. Questo tipo di successione può determinare a livello paesaggistico e specifico una notevole diversità per compenetrazione dei diversi stadi in ambienti ristretti ma può anche essere indicativa di gravi forme di degrado.

Disponendo di opportune banche dati è possibile costruire modelli validi per l'interpretazione di serie, successioni e complessi di vegetazione in relazione alla superficie occupata e ai rapporti ponderati in base alla copertura tra le diverse forme biologiche. Le differenze percentuali osservate per rilievi su aree limitate possono essere riferiti a variazioni dovute all'attività antropica e alla gestione osservate per aree più estese permettendo di interpretare i complessi di vegetazione ed eventualmente proporre interventi razionali di recupero o mantenimento. I dati strutturali possono essere associati all'estensione areale dei diversi stadi e alle serie storiche facilitando l'interpretazione di modelli evolutivi e di degrado.

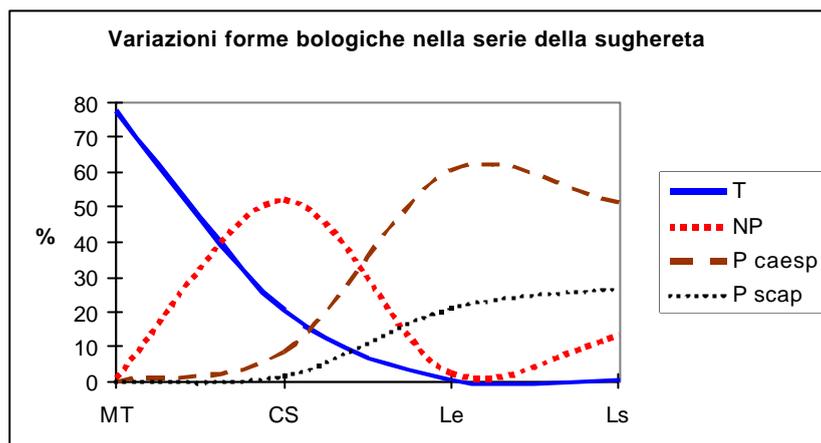


Figura n. 4.16: Variazioni percentuali (ponderate per copertura) delle forme biologiche nella serie della sughereta. MT=*Moenchio-Tuberarietum guttatae*, CS=*Cistus salvifolius*, Le=*Viburno-Quercetum ilicis ericetosum*, LS=*Viburno-Quercetum ilicis suberetosum*.

Anche gli indici di Ellenberg possono essere utilizzati in modo analogo. L'esempio riportato in fig. 4.16. riguarda l'indice di umidità delle associazioni che si sviluppano nel litorale romano sulla duna recente (sabbie calcaree): si osserva che non sono le associazioni a prato le più aride ma le garighe a cisti e la macchia litoranea a ginepro: questo può essere interpretato come un legame con la maturità dei suoli più che con lo stadio successionale. In effetti a Castelfusano molte praterie si sviluppano come radure da incendio e sul bordo dei sentieri, su suoli quindi che presentano ancora caratteristiche forestali, mentre le garighe a cisto sono riferibili ad incendi ripetuti con mineralizzazione del suolo e la macchia a Ginepri è legata a suoli ancora relativamente pionieri delle dune consolidate. Anche questi dati possono risultare fondamentali per razionalizzare gli interventi sul territorio, il controllo e il mantenimento della diversità

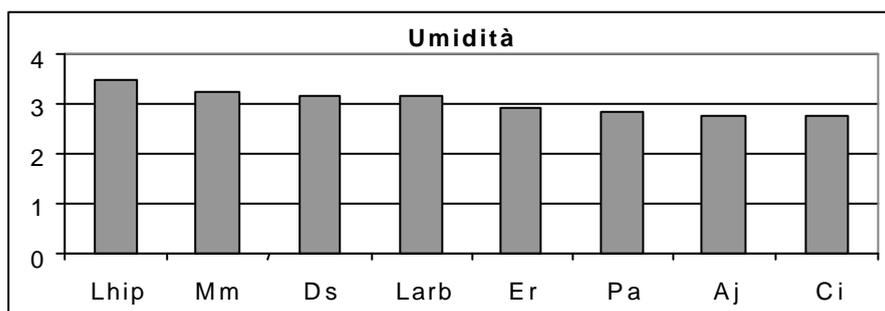


Figura n. 4.17: Indicatore di umidità di Ellenberg di alcune associazioni del Litorale Romano: Lhip=lecceta a *Hippocrepis emerus*, Mm=*Medicago-Melilotum*, Ds =*Laguro Dasypyretum*, Larb=Lecceta retrodunale ad *Arbutus unedo*, Er=macchia ad *Erica arborea* e *Rhamnus alaternus*, Pa=*Phillyreo-Arbutetum*, Aj=*Asparago-Juniperetum oxycarpae*, Ci=*Helychryso-Cistetum*.

4.10 Ecologia del paesaggio

Come abbiamo accennato nei precedenti capitoli l'Italia, per quanto sovrappopolata e di antica civilizzazione, presenta ancora una notevole ricchezza floristica e vegetazionale. Ad essa corrisponde, anche grazie all'azione umana una notevole varietà di unità paesistiche. Il termine "paesaggio" nel campo naturalistico ha avuto una diversa integrazione a seconda dei vari autori e del graduale aumentare dell'interesse per un approccio multidisciplinare al problema della difesa, della gestione razionale e dell'interpretazione del territorio. Ad esempio secondo Schmithuesen il paesaggio è "la Gestalt complessiva di qualsiasi parte della geosfera di rilevante ordine di grandezza che possa venire percepita come unità sulla base del suo carattere di totalità"; secondo Forman e Godron: "Un' area territoriale eterogenea, composta da un gruppo di sistemi interagenti, che si ripete in forma simile in zone contigue. I Paesaggi hanno ampiezza varia che può scendere fino a pochi km di diametro".

In Italia lo studio moderno è iniziato con lo STOPPANI (1908) che per primo, nel "Bel Paese", aveva cercato di definire i caratteri del paesaggio italiano. FENAROLI E GIACOMINI (1958) cominciano l'interpretazione del paesaggio su basi vegetazionali, poi proseguito con metodologie più moderne da PIGNATTI (1994), BIASUTTI (1962), interpreta il paesaggio su base geomorfologica mentre SESTINI (1963) su base culturale, sociale ed estetica; SERENI (1961) dà particolare risalto al paesaggio agrario percepito come realtà in continuo divenire determinata dalle condizioni socio-economiche e culturali della popolazione.

L'ecologia del paesaggio moderna studia il paesaggio per mezzo del metodo scientifico e delle ricerche sperimentali utilizzando fondamentalmente l'indagine dell'ambiente fisico e degli esseri che su di esso si stabiliscono compreso l'uomo. Ha quindi carattere interdisciplinare necessitando di informazioni che provengono dalle scienze della terra (geomorfologia, climatologia), dalle scienze della vita (ecologia e geobotanica) e dalle scienze dell'uomo (economia e sociologia). Il paesaggio ha quindi carattere di "sistema" inteso come insieme di elementi interagenti e il suo studio deve essere di tipo "olistico" cioè comprensivo dell'integrazione dei dati forniti dall'analisi di ciascun elemento: substrato, condizioni climatiche, attività umana, biodiversità.

L'elemento vegetale è l'aspetto più evidente del paesaggio italiano a differenza di altri territori, come ad esempio la savana africana, dove anche gli animali rappresentano una rilevante componente. La vegetazione è a sua volta direttamente connessa all'ambiente geomorfologico, dalla quale dipende chimicamente e che a sua volta trasforma, e all'attività umana, che è un elemento di trasformazione ma che non può considerarsi di certo storicamente indipendente dalle condizioni ambientali. La vegetazione percepita come interfaccia permette un'interpretazione e una classificazione del paesaggio parziale ma ben caratterizzata.

Lo studio dell'ambiente è fondato su unità progressivamente più comprensive a ciascuna delle quali si possono affiancare specificazioni degli elementi vegetali (LESER, 1978, PIGNATTI 1981, 1990):

Dimensione	Analisi territoriale	Analisi vegetazionale	Sintesi paesistica
Topologica puntiforme	Tessera	Individuo d'associazione	
Topologica estesa	Piastrella o fisiotopo	Complesso di vegetazione	Ecotopo
Geografico	Sistema territoriale	Sistema vegetazionale	Sistema paesistico

Tabella n. 4.7: I vari livelli dell'analisi ambientale.

La tessera è un unità geomorfologica omogenea come una duna o una sponda di lago o torrente. La piastrella è un insieme di tessere interdipendenti come una valle dal letto del torrente alla cima dei pendii circostanti ed è caratterizzata da parecchie associazioni regolarmente distribuite che costituiscono un complesso di vegetazione. Per ecotopo si intende la più semplice unità paesistica caratterizzata da un ben individuabile complesso di vegetazione percettibile in una porzione topografica omogenea, ad esempio una valle fluviale. Un ecotopo è in sostanza costituito da una piastrella e dal corrispondente complesso di vegetazione. Il sistema territoriale (land system) è un insieme di forme del terreno che si ripetono su ampi spazi come ad esempio un complesso montuoso o una pianura; la vegetazione di un sistema territoriale è costituita da vari complessi di vegetazione e costituisce un sistema vegetazionale. I risultati dell'analisi della vegetazione e dei complessi che essa forma permettono di articolare il territorio secondo sistemi paesistici (da alcuni autori chiamati geosigmeti) omogenei dal punto di vista di substrato, clima e caratteristiche biotiche e che altresì possono presentare ben caratterizzabili impronte delle attività umane tipiche per ciascuno di essi. Lo studio dei complessi di vegetazione è stato avviato da TÜXEN (1978) a livello europeo e da PIGNATTI in Italia (1978, 1980, 1981, 1994).

Il paesaggio vegetale può essere analizzato secondo diversi approcci e a diverse scale:

1. qualitativo	flora	Scala organismica
2. quantitativo	fitomassa	Scala ecosistemica
3. quali-quantitativo	vegetazione	Scala ecosistemica
		Scala del bioma
4. integrato	complessi di vegetazione	Scala del bioma

Dalla conoscenza delle specie si può passare, mediante l'analisi fitosociologica, alla conoscenza delle associazioni, individuabili qualitativamente e cartografabili. Dalla conoscenza delle associazioni si può passare a quella dei complessi di vegetazione. Le associazioni vegetali tendono a legarsi tra loro per contiguità o perché stadi successionali diversi. I complessi di vegetazione possono essere considerati associazioni di associazioni e sono descritti mediante tabelle dove per ogni rilevamento viene segnata la percentuale di copertura di ciascun'associazione presente nell'unità di paesaggio che stiamo analizzando. Per il rilevamento bisogna scegliere un ambiente unitario corrispondente ad un'unità geomorfologica elementare o fisiotopo (pendio, cresta, rupe etc.), rilevare gli elementi abiotici (forma geomorfologica, pendenza, esposizione, substrato geologico) e biotici (associazioni presenti e della loro copertura) ed il sistema paesistico nella sua totalità. Vanno annotati come presenza/assenza anche i tratti generali del paesaggio, cioè elementi del paesaggio percettibili al di fuori del rilievo (ad es. rupi, associazioni a rilevante copertura, mare, coltivi). La superficie del rilievo, che naturalmente va anch'essa annotata, comprende tutta l'area visibile dal

punto in cui è posto l'osservatore in cui è in grado di interpretare le variazioni della vegetazione.

In seguito la tabella bruta, dopo aver compiuto un buon numero di rilievi, può essere elaborata con i metodi di analisi multivariata per distinguere i complessi di vegetazione presenti. Le tabelle ottenute per ciascun complesso di vegetazione ne permettono la tipizzazione. Sulla base dei complessi di vegetazione e dei corrispondenti sistemi territoriali è possibile identificare i sistemi paesistici, unità ad estensione regionale con proprie caratteristiche di ambiente e vegetazione.

Disponendo di foto aeree multispettrali è possibile analizzare in dettaglio i principali pattern di copertura vegetale con software come ad esempio SPAN (Spatial Analysis Program, TURNER & ROUSCHER 1988) o ERDAS (Earth Resources Data Analysis System, DELLA ROCCA, ROSSI 1991) che, utilizzando indici di diversità, dominanza, dimensione frattale e cluster analysis, permettono ulteriori classificazioni in base alla variabilità della copertura e, in base ai rilievi a terra, possono fornire dati esatti sulla copertura di ciascuna associazione in ciascun complesso di vegetazione e di ciascun complesso di vegetazione in un dato sistema paesistico. I dati di diversità paesistica possono essere messi in relazione con la diversità biologica, per l'ovvio legame tra varietà di habitat e di specie, contribuendo all'interpretazione di una data unità paesistica anche in funzione della fauna e della sua distribuzione (MILLER, BROOKS & CROONQUIST, 1997). Disponendo di serie fotografiche storiche è possibile analizzare variazioni nella distribuzione ed estensione delle associazioni e dei complessi di vegetazione in funzione di variazioni nell'uso del suolo e cambi climatici.

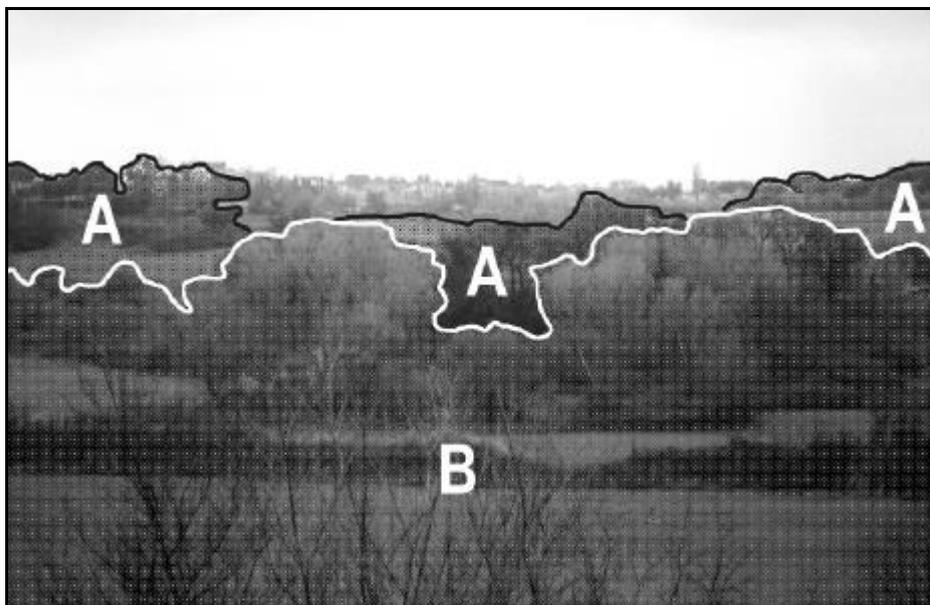


Figura n. 4.18: Esempio di interpretazione di un paesaggio vegetale. Le diverse comunità vegetali costituiscono due complessi di vegetazione:
AREA A: Orno-Quercetus ilicis 15%, Brometalia rubenti tectori 65%, Pinus pinea 20%.
AREA B: Populetum albae 30%, Secalione 60%, Pruno Crataegetum + Hordeetum leporii 10%.

N. ril.	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286
Ecotopo	pend	pend	rup	pend	forr	cres	pend	pend	pend	cim	pian										
Altezza sul mare in mt	350	350	230	600	500	1000	950	400	900	800	800	1300	1300	1300	1700	1600	1800	1700	1900	2080	2450
Inclinazione in gradi	10	10	85	30	5	15	15	10	3	5	10	10	10	25	60		20	30	40	5	3
Esposizione	SW	SW	S	S	S	SW	N	S	S	NE	S	S	S	N	NW	S	S	N	S	S	NW
Superficie in ettari	10	10	1	5	1	1	10	1	5	1	2	5	5	5	2	2	1	1	5	2	2
Substrato geologico	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal	cal
Vegetazione climatogena																					
Orno-Quercetum ilcis	10	2	1	50	25																
Melitti-Ostryetum				25	5	50	10	15	5												
Cytiso-Quercetum pubescentis										30	70										
Aquifolio-Fagetum													50	99	95	50					
Seslerietum tenuifoliae																5	5	85	90	95	15
Veg. della fascia mediterranea																					
Ass.ne ad Ampledosmos	10	90																			
Oleo-Lentiscetum	80	10																			
Veg. della Fascia collinare																					
Xerobromion			25	20				50			15										
Mesobromion						30			10		30	40		1							
Potentilletalia caulescentis			70																		
Cytiso-Brometum					5																
Sedetum albi			1																		
Seslerio-Ostryetum				5	5																
Corylo-Carpinetum orientalis					20		3														
Ass.ne a Prunus spinosa							10														
Aggr. a Rubus sp. pl.							10														
Selva a Castanea								80													
Cytisetum scoparii								5													
Sambuco-Urticetum									1												
Brachypodietum rupestris											5				1						
Veg. della fascia montana																					
Arrhenatheretum elatioris				40			2	2													
Asphodeletum albi												10		2	10						
Atropetum belladonnae													1								
Veg. della fascia altimontana																					
Juniperetum nanae															2	25	1		2	2	
Festucetum dimorphae															5	70			5	10	
Ass. a Saxifraga porophylla															30		1		2		
Ass. a Saxifraga australis																70					
Isatidi-Heracleetum																	25				
Ass. a Doronicum cordatum																		1			
Elynetum																					70
Salicetalia herbaceae																					5
Veg. sinantropica																					
Caucalio (Triticum)							30	75		30											
Hordeetum leporini							2	5													
Rubetum ulmifolii								2													
Sambucetum ebuli							1														
Parietareum judaicae			1							15											
Rimb. a Pinus nigra																					
Elementi del paesaggio vegetale																					
Orno-Quercetum ilcis	+	+																			
Melitti-Ostryetum			+	+	+	+		+	+					+							
Cytiso-Quercetum pubescentis									+	+	+			+							
Aquifolio-Fagetum									+	+	+	+	+	+	+					+	+
Seslerietum tenuifoliae																+	+	+	+	+	+
Oliveti			+																		
Ass.a Ampledosmos			+	+																	
Visione del mare				+																	
Prati steppici										+											

Tabella n. 4.8: Tabella strutturata di un sistema vegetazionale: il paesaggio dell'Appennino centrale calcareo (da Pignatti 1994) calc=calcarea; pend=pendio; pian=pianoro; for=forra; cres=cresta.

5. RISULTATI ED APPLICAZIONI

5.1 Carte della vegetazione e carte derivate

Le carte della vegetazione sono tra i documenti che sintetizzano la massima quantità di informazioni riguardante il territorio. Questa informazione può essere evidenziata in modo particolarmente efficace tramite le carte derivate; in linea generale, partendo da una carta della vegetazione, si sostituiscono le campiture occupate da ciascuna tipologia vegetazionale con campiture che rappresentano il fattore ecologico di cui ogni singola vegetazione è indicatore. Gli indicatori utilizzabili sono innumerevoli, limitati in pratica solo dalle conoscenze sinecologiche sui tipi vegetazionali. Tra le varie carte derivate realizzabili sono di notevole interesse quelle che mettono in evidenza gli indicatori di Ellenberg (cfr. Figure 2.9 e 2.10). Un esempio particolarmente immediato è quello della Riserva Naturale Monterano, a nord di Roma. Il territorio in esame è caratterizzato da profonde forre, lungo le quali si smistano tipi vegetazionali molto variati, dalla foresta ripariale a ontano (*Alnus glutinosa*), al bosco a carpino bianco (*Carpinus betulus*), al bosco di cerro (*Quercus cerris*) fino alle formazioni sempreverdi mediterranee a leccio (*Quercus ilex*).

Due carte derivate, quella dell'indicatore della temperatura e quella dell'indicatore dell'umidità spiegano con immediatezza il significato ecologico di questo gradiente. La temperatura appare il fattore determinante, direttamente correlato al gradiente foresta ripariale a ontano-bosco a carpino bianco-foresta di cerro, mentre l'umidità indica l'esistenza di situazioni extrazonali xeriche in corrispondenza dei ripidi dirupi in cui può insediarsi una vegetazione mediterranea a leccio.

E' da sottolineare come con il telerilevamento è possibile automatizzare gran parte del processo di rilevamento di una carta di vegetazione, e soprattutto ripetere tale rilevamento nel tempo.

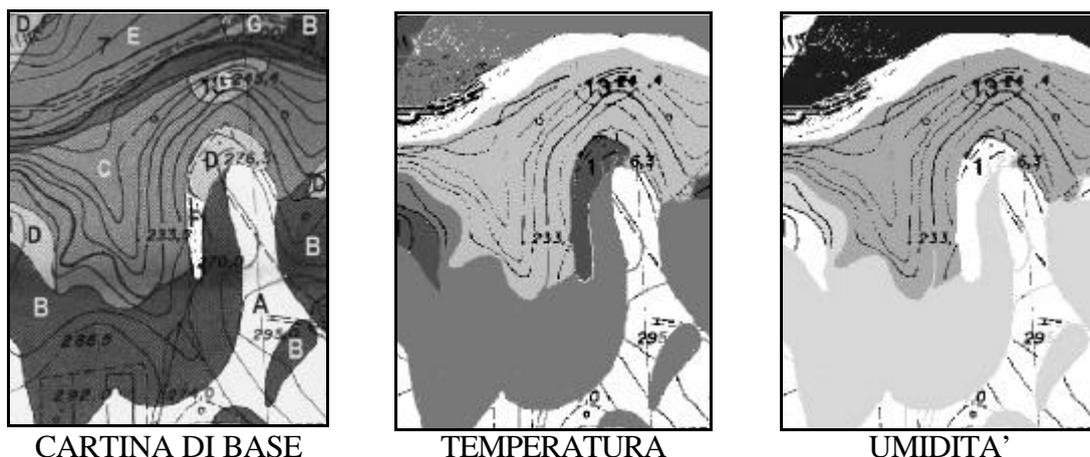


Figura n. 5.1: Stralcio della carta della vegetazione di Canale Monterano.

Cartina di base: sono indicate le coltivazioni (A), la cerreta (B), il carpineto (C), la lecceta (D), la macchia ad *Adenocarpus complicatus*

(E), la macchia a *Erica arborea* (F), i popolamenti ad *Agrostis canina* spp. *Monteluccii* (G).

Carta derivata della Temperatura in base al relativo indice di Ellenberg; l'intensità del colore è proporzionale a valori crescenti di Temperatura.

Carta derivata dell'umidità; l'intensità del colore è proporzionale a un valore di Umidità crescente.

5.2 Naturalità della vegetazione

I vari tipi vegetazionali sono assai sensibili all'impatto antropico, di cui sono quindi un eccellente indicatore. L'impatto influenza la vegetazione a livelli diversi, cosicché è possibile utilizzare diversi indicatori per metterne in risalto le caratteristiche.

5.2.1 Complessi di vegetazione ed impatto ambientale

Tra i vari approcci sperimentati risulta particolarmente interessante uno di livello paesistico: alcuni complessi di associazioni, infatti, sono correlati con l'antropizzazione del territorio. Un simile approccio è stato utilizzato per la carta della vegetazione del Trentino-Alto Adige (MINGHETTI 1999, Figura 5.2).

Un'analisi di questo stralcio della carta mette in evidenza un gradiente di naturalità crescente dalle aree urbane dei fondovalle fino alle alte vette delle montagne.

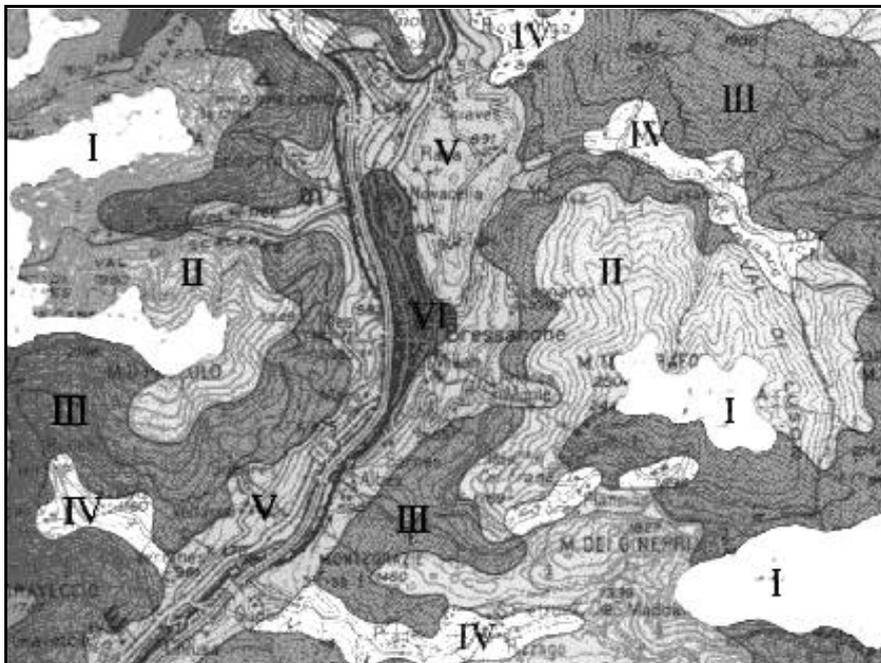


Figura n. 5.2: Carta della naturalità della conca di Bolzano (Minghetti 1999).

Nella figura 5.2 possiamo evidenziare differenti zone:

- **I** : aree con vegetazione naturale primaria, prevalentemente di alta quota o di rupe (*Caricetalia curvulae*, *Seslerietalia albicantis*, *Elynetalia*, *Potentilletalia caulescentis*, *Androsacetalia vandellii*);
- **II** : aree con vegetazione naturale rappresentata da foreste modificate parzialmente dall'uomo, in particolare foreste di abete rosso (prevalentemente *Piceion excelsae*);
- **III** : aree con vasti complessi di vegetazione naturale, formata da foreste con struttura semplificata dall'uomo, prevalentemente faggete, pinete e pascoli aridi (*Fagion*, *Carpinion*, *Dicrano-Pinion*, *Erico-Pinion*, *Festucetalia valesiaca*);
- **IV** : aree con vegetazione seminaturale rappresentata in prevalenza da prati e nuclei di vegetazione sinantropica (*Arrhenatheretum*, *Trisetetum*, piantagioni di *Pinus sylvestris*);
- **V** : aree prevalentemente coltivate (*Centaureetalia cyani*, *Chenopodietalia albi*);
- **VI** : aree con vegetazione sinantropica degli insediamenti umani (*Parietarietea*, *Asplenietea trichomanis*, *Artemisietea vulgaris*, *Polygono-Poetea annuae*).

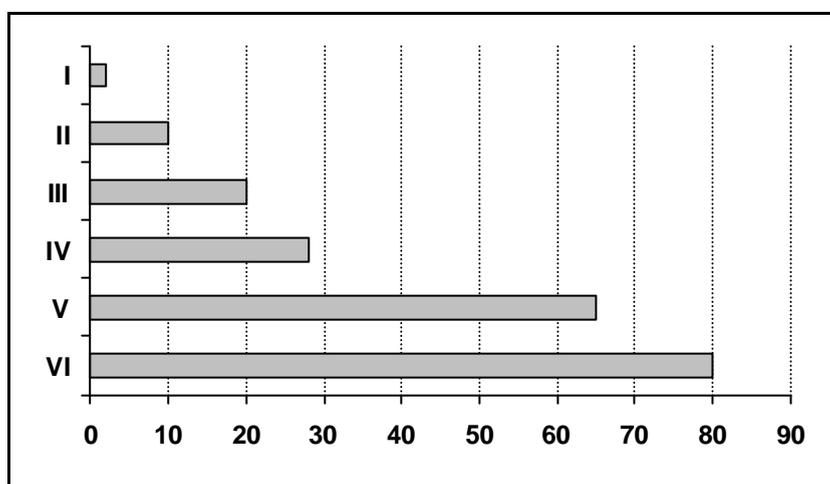


Figura n. 5.3: Percentuale di avventizie per ciascuna delle classi di naturalità della carta del Trentino-Alto-Adige (Fig. 5.2); le neofite aumentano nelle aree meno naturali.

5.2.2 Avventizie e specie invasive

Il grado di naturalità può essere espresso anche tramite la percentuale di avventizie, che sono strettamente correlate con il livello di impatto; i sei gradi della scala di naturalità impiegati in Trentino-Alto Adige sono perfettamente corrispondenti alla percentuale di avventizie nella flora.

La percentuale di specie avventizie e più in generale di multizonali è valido anche in ambiente urbano; in uno studio del quartiere Aurelio a Roma (fig. 5.4) esse esprimono il grado di naturalità (le aree con minor numero di multizonali sono adibite a parco urbano).

ognuna delle quali può esser assegnato un indice di emerobia. Tale concetto è stato introdotto da KOWARIK (1990) ed esprime il grado di antropizzazione della vegetazione. Tra vari approcci possibili, Kowarik ha scelto di individuare i vari stadi di antropizzazione in base al tipo di paesaggio vegetale e quanto questo sia influenzato dalle attività antropiche. Per quanto a bassi gradi di antropizzazione lo schema abbia forse poca risoluzione e vada probabilmente perfezionato, per la vegetazione urbana e più in generale antropizzata la scala di dieci valori fornita da Kowarik si dimostra particolarmente efficace e corrispondente alla realtà che si osserva sul campo. Lo schema è inoltre ispirato alla scala di eutrofizzazione adottata da molti limnologi; viene quindi fornita una corrispondenza tra i valori numerici e una serie di termini, come aemerobico, mesoemerobico, poliemerobico, che corrispondono a quelli dell'eutrofizzazione delle acque interne.

L'indice di emerobia permette utili applicazioni, in particolare nelle carte di impatto e nei piani di assetto dei parchi, in quanto permette di evidenziare in base alla vegetazione le aree a maggiore naturalità

Nello schema seguente viene fornita la definizione originale di Kowarik insieme con alcune integrazioni di queste stesse definizioni specialmente pensate per la flora dell'abitato a Roma e più in generale per l'area mediterranea.

Emerobia		vegetazione (da Kowarik)
Aemerobico	0	quasi non esistente in Europa centrale (solo in parte nelle alte montagne)
Oligoemerobico	1	foreste primarie virtualmente senza influenza antropica, torbiere, vegetazione delle pareti rocciose e delle coste
	2	luoghi umidi con gestione estensiva, foreste con scarsa asportazione di legno, alcuni prati umidi
Mesoemerobico	3	foreste sfruttate più intensamente, foreste secondarie sviluppate in luoghi di origine antropica, pascoli aridi (Festuco-Brometea), prati umidi (Molinio-Arrhenatheretea) con gestione tradizionale
	4	monocolture forestali, foreste secondarie disturbate, vegetazione di margine (Trifolio-Geranietea), prati aridi poco ruderalizzati
β -euemerobico	5	foreste piantate giovani, pascoli e prati a gestione intensiva, vegetazione ruderale ad alte erbe (Epilobietea angustifolii, Artemisietea vulgaris, Galio-Urticetea), prati aridi fortemente ruderalizzati in ambienti di origine antropica
	6	vegetazione dei campi a gestione tradizionale, prati calpestati (Cynosurion), prati ruderalizzati
α -euemerobico	7	vegetazione dei giardini e dei campi intensamente sfruttata
	8	vegetazione dei campi influenzata da erbicidi (per esempio campi di mais), vegetazione ruderale pioniera, prati annuali calpestati
Poliemerobico	9	vegetazione pioniera delle ferrovie, accumuli di macerie e discariche, autostrade con spargimento di sale in inverno

Tabella n. 5.1: Valori degli indici di emerobia.

In base alla frequenza delle specie nei tipi vegetazionali a diverso grado di emerobia è possibile costruire un profilo dell'emerobia di queste ultime.

Lathyrus venetus è una specie di boschi più o meno naturali, che mostra un picco in corrispondenza dei valori di emerobia più bassi. *Erica arborea* e *Asphodelus microcarpus* hanno un massimo in corrispondenza dello stesso valore di emerobia, indicando uno sviluppo ottimale in ambienti con uguale grado di disturbo; mentre però *Erica arborea*, specie di macchia, ha una curva troncata in corrispondenza del valore 3, *Asphodelus microcarpus*, specie di prati anche fortemente degradati ha una coda che si estende fino al valore 7. *Senecio vulgaris* e *Cichorium intybus* sono ambedue specie di ambienti fortemente antropizzati; tuttavia *Cichorium intybus* ha una curva asimmetrica verso sinistra, mentre *Senecio vulgaris* ha una curva approssimativamente simmetrica, in relazione al minor grado di ruderalità di *Cichorium* rispetto a *Senecio*.

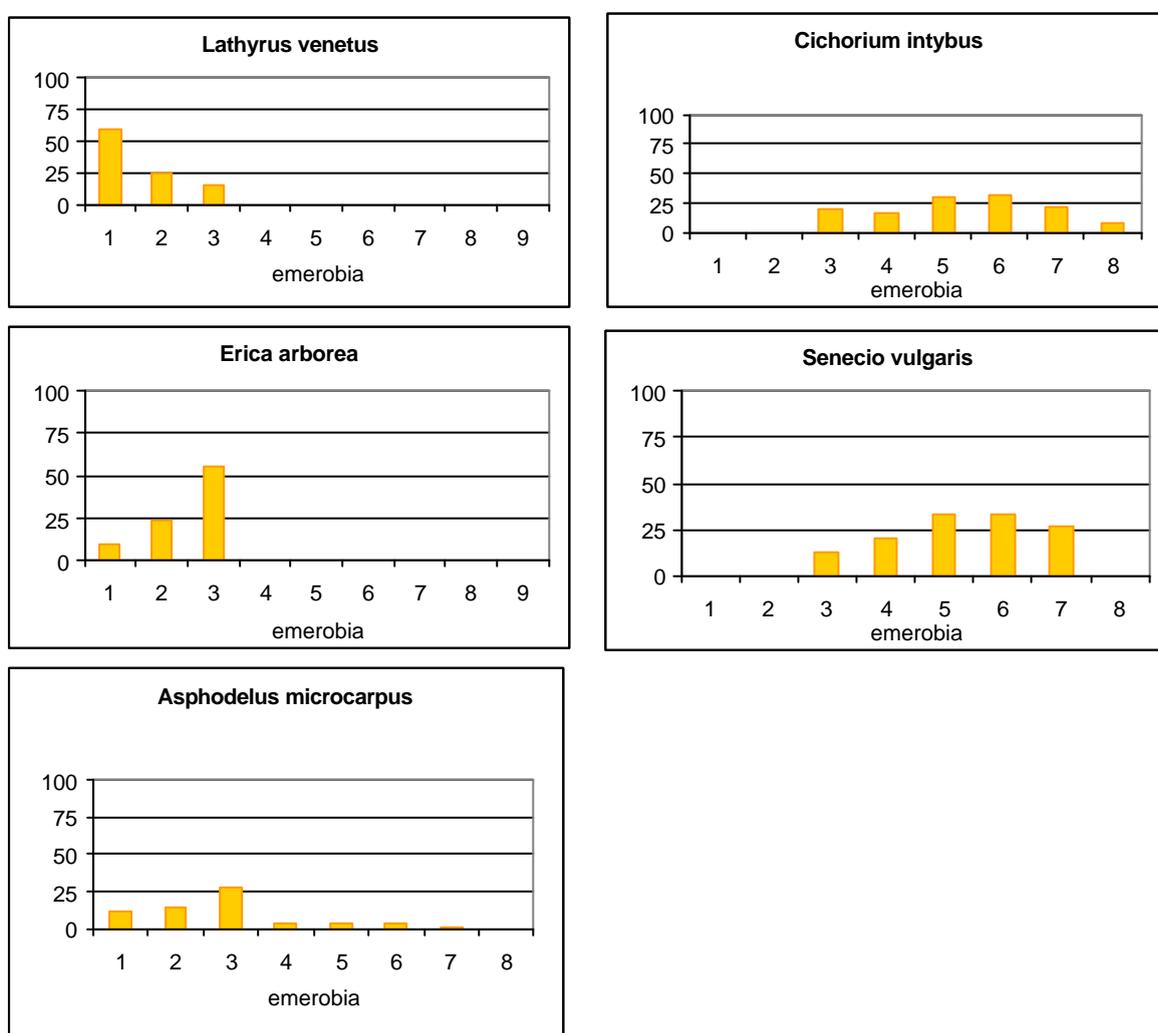


Figura n. 5.6: Andamento dell'emerobia in alcune specie dell'Italia Centrale (vedi spiegazione nel testo).

Gran parte dell'informazione contenuta nella forma della curva di emerobia può essere riassunta con i valori della mediana e del primo e terzo quartile. Sia la mediana che l'intervallo tra il 1° e il 3° quartile forniscono

l'ambito di emerobia in cui è più facile osservare una data specie, ma l'intervallo tra i quartini (differenza interquartile) è più significativa proprio perché distingue profili di emerobia con uguale mediana ma diversa asimmetria; per esempio *Cichorium intybus* e *Senecio vulgaris* hanno la stessa media (7,3), ma il primo, meno ruderale, ha un intervallo interquartile 5,3-7,3, il secondo, tipico di ambienti molto disturbati, ha una differenza interquartile 6,2-8,3.

Specie	1° quartile	mediana	3° quartile
Lathyrus venetus	2,6	2,6	3,4
Erica arborea	2,7	3,7	3,7
Asphodelus microcarpus	3,2	4,4	5,3
Cichorium intybus	5,3	7,3	7,3
Senecio vulgaris	6,2	7,3	8,3

Tabella n. 5.2: Valori riassuntivi dell'emerobia delle specie di figura 5.6.

5.3 Le modificazioni della flora indotte dall'urbanizzazione: il caso di Valle dell'Inferno

Il Parco Regionale Urbano del Pineto o Valle dell'Inferno, a Roma, un'area di circa 250 ha, è stato studiato dettagliatamente, con la compilazione di una completa lista floristica, nel 1954 da GIULIANO MONTELUCCI, quando il biotopo era esterno all'area edificata, e nuovamente nel 1992 da FANELLI E BIANCO, quando ormai era da lungo tempo completamente inclusa nel tessuto urbano. Siamo quindi in presenza di un interessante esperimento casuale su un'area relativamente estesa che permette di sfruttare appieno le possibilità offerte dalla flora come indicatore.

Dal confronto della flora di del 1954 e quella di 1994 si evince come siano apparse 41 nuove specie e ne siano scomparse 62, pari rispettivamente al 6.36% e al 9.29 % delle specie delle flore attuali e del 1956. Le specie sono attualmente 644, mentre erano 667 nel censimento di Montelucci. In generale non si è osservato quindi un decremento della ricchezza floristica.

Se si considerano le variazioni degli spettri biologici sulle flore complessive si osservano principalmente la diminuzione delle eurasiatiche e l'aumento delle specie ad ampia distribuzione. Si può osservare anche un debole aumento delle stenomediterranee.

Se si considerano le specie raccolte solo nel 1954 o solo nel 1994 le differenze sono esaltate. In particolare sono fortemente aumentate le specie avventizie, più moderatamente le stenomediterranee e le eurimediterranee, leggermente le eurizonali. Si osserva quindi una forte diminuzione delle specie eurasiatiche, una diminuzione poco consistente delle circumboreali e delle atlantiche, mentre sono quasi scomparse le

endemiche. L'analisi floristica ha inoltre rilevato che le stenomediterranee presenti solo nel 1994 sono tipiche di ambienti oligotrofi, così come la maggior parte delle eurimediterranee.

Dagli indici di Ellenberg si ricava che sono molto aumentati i nutrienti, è diminuito il pH, è molto diminuita l'umidità, è leggermente aumentata (0,5) la temperatura ed è anche debolmente diminuita la continentalità(0,3).

Dal punto di vista fitosociologico la maggior parte delle specie presenti solo nel 1994 sono specie di *Stellarietea* e *Artemisietea* (specie della vegetazione ruderale), secondariamente di *Helianthemetalia* e *Quercetea ilicis* (vegetazione mediterranea). Le specie scomparse sono in gran parte specie di *Festuco-Brometea* (praterie di clima temperato e fresco) e secondariamente di *Centaureetalia cyani* (vegetazione infestante dei campi).

In sintesi:

- L' aumento dell'antropizzazione (fenomeno più netto), è confermato dall'aumento del rapporto eurimediterranee/eurasiatiche (MENICHETTI ET AL 1989), dall'aumento considerevole delle avventizie e dei nutrienti e dalla diminuzione delle endemiche.
- Sembra, in base agli indici di Ellenberg e dall'aumento delle stenomediterranee, che vi sia una netta diminuzione di umidità, ma questo contrasta con le caratteristiche ecologiche delle specie scomparse che sono prevalentemente di *Festuco-Brometea* e poco igrofile.
- Un aumento della temperatura è deducibile dallo spettro corologico (aumento steno + eurimediterranee e diminuzione eurasiatiche + circumboreali) e in base alla composizione fitosociologica (scomparsa pressoché totale delle specie di *Festuco-Brometea* e leggero aumento delle specie di *Quercetea ilicis*); anche l'indice di Ellenberg indica un aumento della temperatura, particolarmente qualora si considerino solo le specie scomparse e quelle comparse ex-novo.

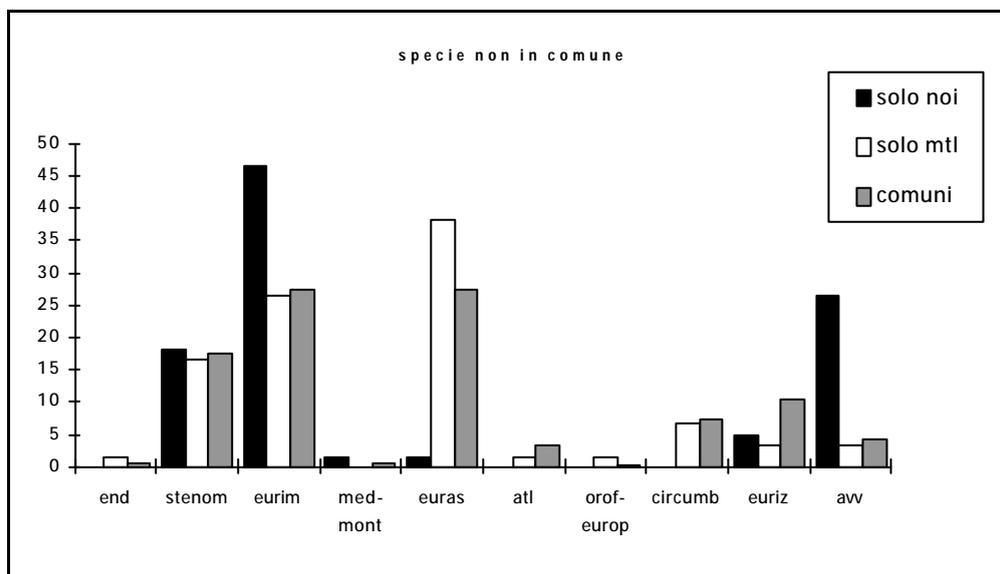


Figura n. 5.7: Parco del Pineto (Roma). Variazioni delle medie dei corotipi nel confronto tra i rilevamenti del 1952 e del 1993.

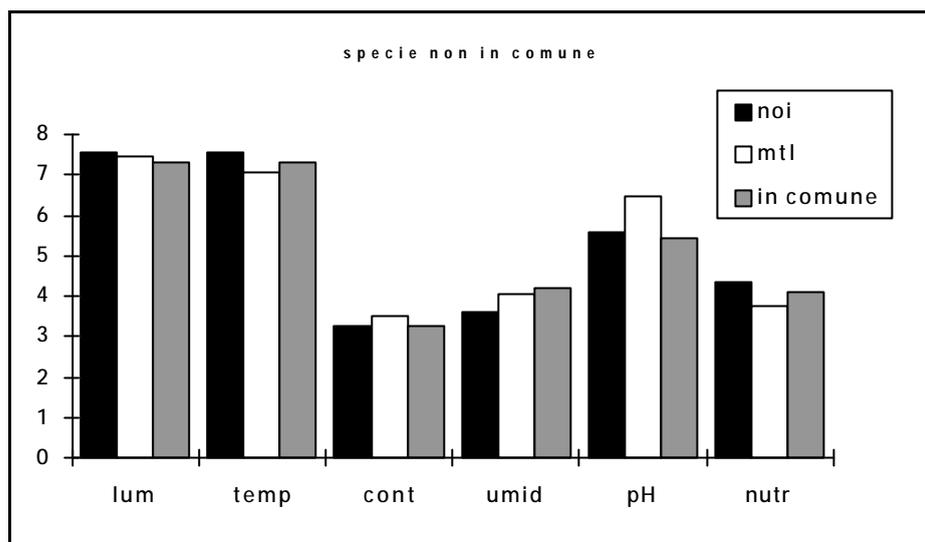


Figura n. 5.8: Parco del Pineto (Roma). Variazioni delle medie degli indici di Ellenberg nel confronto tra i rilevamenti del 1952 e del 1993.

In conclusione, i fenomeni principali sembrano un aumento dell'impatto antropico e della temperatura, ambedue collegati alle trasformazioni del territorio circostante; le aree urbane sono infatti più calde delle aree non urbanizzate, in quanto il cemento e gli altri materiali edilizi si riscaldano intensamente durante il giorno e in quanto si ha un considerevole apporto di calore da parte per esempio dei motori delle automobili. Il fenomeno del riscaldamento non è del tutto evidente in base agli indici di Ellenberg, ma è confermato dall'analisi di altri parametri.

L'esempio riportato dimostra come l'integrazione tra i vari indicatori possa permettere un'analisi più sicura e dettagliata dei cambiamenti della vegetazione e una più precisa indicazione dei fattori ecologici, che spesso interagiscono fra di loro in modo complesso.

5.4 Riscaldamento globale

Il riscaldamento globale, che ha portato a uno spostamento abbastanza sensibile degli areali di specie animali (per esempio sono presenti attualmente, nel Mediterraneo, circa 150 specie senegalesi e del Mar Rosso) è rilevabile anche nel caso delle piante superiori. Gli esempi sono piuttosto numerosi (comparsa di specie mediterranee in Europa media). Un caso interessante è rappresentato dall'alta Val Braulio (Bormio) nel Parco dello Stelvio. In questo territorio sono stati effettuati un dettagliato studio floristico e vegetazionale e il primo tentativo di cartografia della vegetazione in Italia nel 1952 (GIACOMINI E PIGNATTI, 1955). Nell'autunno del 2000 lo studio è stato ripetuto per evidenziare eventuali variazioni (IN PUBBL.).

Sono stati osservati numerosi fenomeni interessanti, di cui alcuni sembrano correlati con un riscaldamento del clima.

In particolare, nel *Curvuletum*, vegetazione delle praterie situata nella fascia tra i 2500 e i 2800 m si è osservato un aumento delle specie termofile, come evidenziato dall'indice di temperatura di Ellenberg, che è aumentato di circa 0,05 (Fig. 5.6).

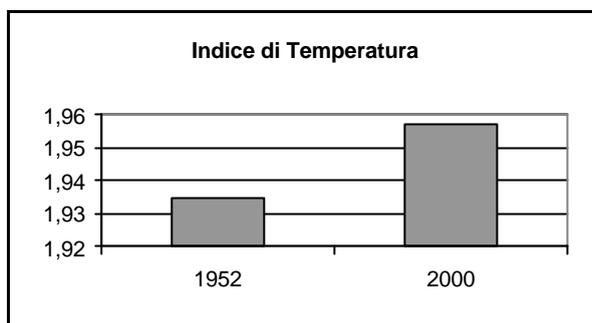


Figura n. 5.9: Parco Naturale dello Stelvio. Variazioni dei valori medi dell'indice di Temperatura secondo Ellenberg nel confronto tra i rilevamenti del 1952 e del 2000.

5.5 Dinamica della vegetazione

La dinamica della vegetazione è un argomento centrale in ecologia, ma di notevole complessità. Infatti, se inizialmente si interpretava la successione della vegetazione come un processo deterministico e unidirezionale, si è riconosciuto che esistono vari modelli di dinamica della vegetazione. Tra i più importanti si possono ricordare:

- *successione primaria*: serie di vegetazioni che partono dal suolo minerale e avvengono in assenza di una composizione floristica iniziale
- *successione secondaria*: serie di vegetazione che avviene in presenza di suolo più o meno evoluto e con una composizione floristica originaria che può avere una considerevole influenza sulla successione
- *fluttuazioni*, cioè oscillazioni della composizione floristica, in conseguenza in particolare di fattori popolazionistici.

E' da sottolineare altresì come la successione ha una notevole componente spaziale, che è stata messa in evidenza negli studi di ecologia del paesaggio (Ingegnoli); nelle foreste primarie, pressoché assenti in Europa, si è osservato quasi invariabilmente un mosaico a grana più o meno fine di vegetazioni in fase evolutiva differente, con composizione floristica profondamente influenzata dalla disponibilità di propaguli delle specie delle varie fasi della successione.

Lo stadio dinamico in cui si trova la vegetazione può essere messo in evidenza con indicatori differenti, in particolare nel caso delle foreste. Tra questi si possono ricordare:

1. **Modificazioni strutturali**: sia la struttura verticale (stratificazione) che quella orizzontale (presenza di radure) sono correlate con lo stadio successionale; in linea generale la complessità strutturale, particolarmente quella verticale, aumenta con l'evolvere della vegetazione, benché non manchino casi in cui la massima diversità strutturale orizzontale si ha in fasi intermedie della

vegetazione (per esempio un paesaggio in cui si alternano pascoli, cespuglieti e frammenti di bosco);

2. **Modificazioni floristiche:** numerose specie vegetali sono legate a un particolare stadio della successione, benché tuttavia spesso non sia possibile distinguere in base a esse se la vegetazione sia in rigenerazione o in regressione; la presenza di specie arbustive dei *Prunetalia* (*Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Cornus sanguinea* ecc.) può indicare per esempio sia un processo degenerativo che evolutivo;
3. **Modificazioni popolazionistiche:** la struttura di età degli individui vegetali è strettamente correlata con lo stadio successionale della vegetazione. Il metodo più semplice per verificare la struttura demografica della vegetazione è il calcolo della percentuale delle diverse classi di età o di crescita, che può essere effettuato anche sulle piante erbacee in base alla morfologia; per esempio *Inula viscosa* nel primo anno di crescita presenta un solo scapo, mentre il numero degli scapi aumenta nelle piante più vecchie, permettendo così di valutare il grado di evoluzione degli incolti pionieri in cui questa specie prospera. Questo approccio, proposto negli anni '50 dagli autori russi, per quanto particolarmente preciso, è tuttavia relativamente costoso in termini di mole di lavoro.

5.6 I licheni come indicatori dell'inquinamento atmosferico

I licheni sono sensibili indicatori dell'inquinamento atmosferico. Nelle aree industriali o urbane sono addirittura del tutto assenti, costituendo il cosiddetto "deserto lichenico". La sensibilità all'inquinamento è differente per le diverse specie, ma in linea generale si ha un decremento di specie con l'inquinamento, soprattutto da anidride solforosa. La sensibilità delle singole specie è dipendente dalle condizioni climatiche regionali; scale basate sulle specie, oltre a richiedere una notevole competenza tassonomica, hanno quindi valore solo per precise province climatiche. E' invece di pratico e semplice impiego l'Index of Atmospheric Purity, fondamentalmente un indice di diversità lichenica.

Il protocollo da eseguire è il seguente:

- si posiziona una griglia di 30x50 cm suddivisa in 10 rettangoli di uguale superficie sul tronco ad altezza del petto;
- si segnano tutte le specie presenti in ciascun rettangolo;
- si calcola il numero di presenze (quindi un valore da 1 a 10) di ciascuna specie nei rettangoli della griglia (p);
- si sommano le presenze per tutte le specie $IAP = \sum p$.

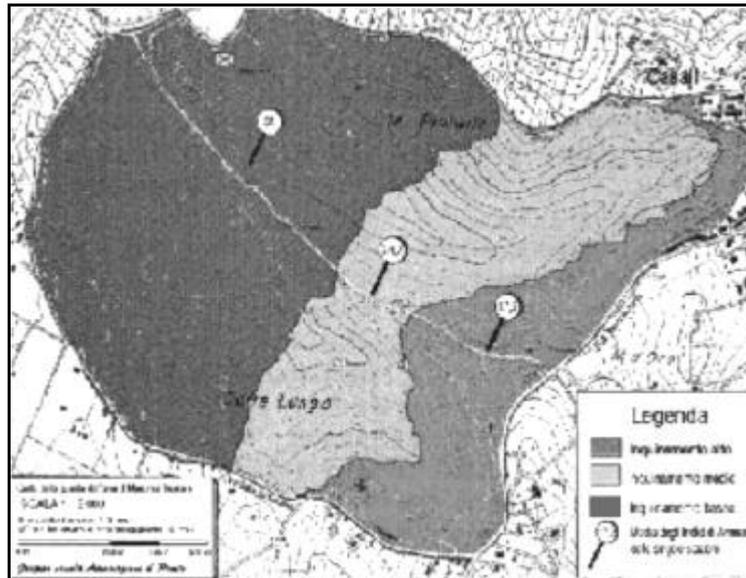


Figura n. 5.10: Parco di Nomentum (Roma). Carta dell'indice di inquinamento atmosferico usando i licheni come indicatori (per gentile concessione dell'associazione "Il Pineto").

L'indice di Amman è stato applicato, per la sua semplicità, dagli studenti di una scuola media nel bosco di Macchia Trentini (Mentana, prov. di Roma).

Si osserva come l'indice decresca regolarmente dalla via Nomentana, sulla destra, strada ad alto traffico e quindi a elevata emissione di inquinanti, verso sinistra, area del territorio più distante dalla strada.

L'IAP presenta, rispetto per esempio a centraline, numerosi vantaggi: media l'inquinamento su un ampio intervallo piuttosto che fornire valori puntali, è notevolmente economico, permette una elevata densità dei punti di rilevamento.

5.7 Parametrizzazione della vegetazione

Le informazioni per l'utilizzo della vegetazione come indicatore sono spesso presentate in forma non sistematica. Recentemente si va tuttavia affermando l'uso di schede in cui tutte le caratteristiche dei diversi tipi vegetazionali sono accuratamente parametrizzate (PIGNATTI 1998). In alcuni casi sono inseriti direttamente gli indicatori; un caso particolarmente interessante riguarda una presentazione dei tipi forestali del Veneto (DEL FAVERO 1999). In questo studio sono presentati numerosi indicatori, in particolare, come indicatori qualitativi:

- tendenze dinamiche;
 - influenza degli interventi colturali;
 - rinnovazione naturale;
 - struttura.
- indicatori quantitativi;

- indicatori biometrici (fitomassa);
- standard naturale dei soprassuoli;
- biodiversità;
- pregi;
 - pregio naturalistico;
 - pregio cromatico;
 - pregio tecnologico.
- suscettività alle calamità
 - suscettività all'incendio;
 - suscettività all'impatto meccanico.

5.8 Monitoraggio in continuo

Come risulta da molti dei casi di studio presentati, i risultati più interessanti nell'uso degli indicatori ambientali si evincono da un confronto di serie temporali. Per quanto, nelle banche dati fitosociologiche e floristiche esista una gran quantità di informazione georeferenziata che permetta simili confronti, le osservazioni non sono sistematiche, in quanto nascevano generalmente da esigenze diverse da quelle applicative. In particolare, vi è una notevole eterogeneità nella densità delle indagini a seconda delle regioni geografiche (Figura 5.11), con informazioni più dettagliate in particolare nelle Alpi orientali, in gran parte dell'Italia centrale e in Sicilia, mentre ampie lacune si hanno per il resto del Mezzogiorno ma anche in vari settori dell'Italia settentrionale.

Allo stato attuale dell'arte, risulta improcrastinabile stabilire una rete di aree campione che vengano monitorate a intervalli di tempo regolari, rilevando i diversi livelli dell'organizzazione della vegetazione (flora, vegetazione, paesaggio), e diversi gruppi tassonomici, non solo la componente fanerogamica.

Una simile rete (di cui esiste un interessante modello nella rete di monitoraggio del patrimonio forestale organizzato dall'ex Corpo Forestale dello Stato), deve necessariamente avere alcune caratteristiche:

- copertura sistematica del territorio
- rilevamento a diverse scale, per esempio regionale di circa 1 kmq, locale di 1 ha, stazionale di 100 e 1 mq per valutare le variazioni a scala grossolana e fine della flora, della vegetazione e del paesaggio
- rilevamento dei diversi livelli di organizzazione ecologica
- disegno del programma di monitoraggio in relazione all'uso degli indicatori di più semplice uso e con maggiore risoluzione
- implementazione di banche dati per il trattamento dei dati raccolti

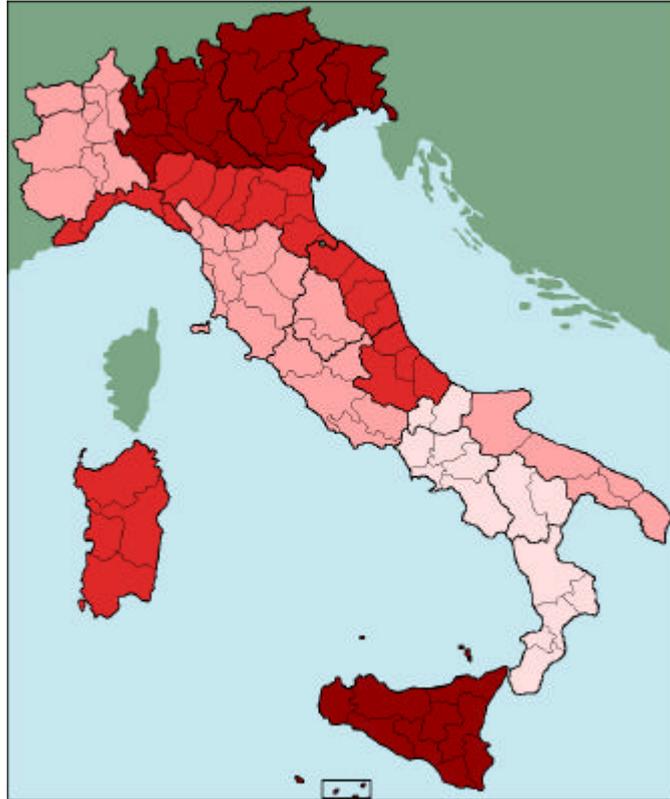


Figura n. 5.11: Le conoscenze floristiche e vegetazionali disponibili nelle varie regioni italiane, indispensabili per un adeguato utilizzo degli indicatori, e in particolare per l'istituzione di una rete di monitoraggio, sono diseguali.

Nella tabella e nella cartina si fa una prima mappatura delle conoscenze vegetazionali, in base al numero di associazioni, sottoassociazioni, aggruppamenti fitosociologici segnalati in ciascuna regione. Questo numero dà una misura piuttosto grossolana, in quanto le varie regioni hanno superficie diversa e in quanto gli studiosi hanno opinioni discordanti su quali associazioni riconoscere come distinte o meno. Tuttavia la cartina corrisponde piuttosto adeguatamente al reale stato delle conoscenze vegetazionali nelle varie regioni.

6. ESEMPI DI BIOINDICAZIONE

6.1 Le zone biogeografiche d'Italia

La superficie dell'Italia, secondo la normativa europea, viene ripartita fra tre zone biogeografiche: Alpina, Continentale e Mediterranea. I limiti fra le tre zone non sono sempre evidenti e spesso può essere vantaggioso utilizzare indicatori ottenuti dalla flora; si riportano qui soltanto alcuni casi più significativi e piante di facile identificazione.

6.1.1 Alpina

tutta la catena alpina dalla Liguria al Tarvisiano e le alte montagne dell'Abruzzo. I limiti rispetto alle altre zone sono chiaramente segnati dalla geomorfologia, e corrispondono alla base della montagna alpina ed ai margini della pianura. Nella vegetazione si nota la larga presenza di conifere, soprattutto abete rosso (*Picea Abies*) e pino rosso (*Pinus sylvestris*), però i consorzi boschivi della fascia marginale con carattere collinare sono per lo più a latifoglie come querce e faggio. Alcuni problemi particolari:

- Dealpinizzazione: il fenomeno di discesa di specie alpine fino ai margini della pianura, generalmente negli alvei torrentizi.

Indicatori:

- *Pinus mugo*;
- *Dryas octopetala*;
- *Biscutella levigata*;
- *Salix purpurea*;
- *Achnatherum (Stipa) calamagrostis*.

- Valli del pino silvestre: le vallate disposte lungo il parallelo hanno clima continentale con estati calde e secche ed inverni molto freddi. Si tratta, da Ovest verso Est della Val di Susa, Val d'Aosta, Valtellina, Val Venosta e Pusteria.

Indicatori:

- *Pinus sylvestris*;
- *Juniperus sabina*;
- *Celtis australis*;
- *Astragalus sp. div.*

6.1.2 Continentale

La pianura padano-veneta ed il versante appenninico fino all'Abruzzo. Il limite verso le Alpi è netto, invece quello verso la zona mediterranea non si può riconoscere chiaramente sul terreno; convenzionalmente esso decorre lungo lo spartiacque appenninico dalla Liguria all'Appennino Tosco-Emiliano ed Umbro-Marchigiano ed

include anche il Teramano. Si tratta di un'ampia fascia nella quale vegetazione mediterranea e continentale si alternano: nelle valli delle Marche che scendono all'Adriatico tipicamente sul versante esposto a Sud si hanno oliveti (mediterranei) ed in quelli esposti a Nord la boscaglia caducifoglia a *Ostrya*. E' la fascia submediterranea, nella quale si possono distinguere tre serie di indicatori:

- Indicatori di continentalità
 - Boschi caducifogli a *Ostrya* (carpinella, carpino nero) e *Quercus pubescens* (roverella);
 - Presenza di prati stabili con *Arrhenatherum elatius* e *Cynosurus cristatus*;
 - *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus* (in montagna), *Juniperus communis*.

- Indicatori di oceanicità
 - Boschi di faggio (zona continentale e alpina);
 - Boschetti di alloro (zona mediterranea).

- Indicatori di mediterraneismo:
 - Oliveti;
 - Boschi sempreverdi a leccio;
 - Pistacia lentiscus, Myrtus communis, Juniperus oxycedrus.

Il problema del leccio

Si tratta della specie (*Quercus ilex*, leccio o elce) che forma la foresta climax del Mediterraneo, tuttavia la sua presenza spesso non è sufficiente ad attestare un vero carattere mediterraneo. La vera lecceta, oltre ad avere la dominanza del leccio, presenta anche un tipico sottobosco con specie lianose sempreverdi:

- *Smilax aspera*;
- *Rubia peregrina*;
- *Clematis flammula*;
- *Rosa sempervirens*;
- *Asparagus acutifolius*.

Il leccio può diventare dominante anche negli aspetti più caldi del bosco di roverella (*Quercetum pubescentis*), qui però i cespugli del sottobosco e le liane sono a foglia caduca:

- *Crataegus monogyna*;
- *Mespilus germanica*;
- *Prunus spinosa*;
- *Cytisus sessilifolius*.

La vite

I vigneti si presentano imparzialmente sia nelle aree a bioclima mediterraneo che in quelle continentali, e la produzione del vino spesso raggiunge punte di elevata qualità sia nell'una che nell'altra zona.

6.1.3 *Mediterranea*

Liguria, Penisola ed Isole.

6.2 Suolo

Le piante sono ottimi indicatori delle condizioni del suolo e su questo argomento esiste una vasta letteratura, che tuttavia risulta accessibile soprattutto attraverso i dati fitosociologici: dato un tipo di suolo al quale corrisponde una data associazione vegetale, le specie di questa associazioni risultano indicatrici del suolo stesso. Questo doppio passaggio rende la bioindicazione alquanto difficoltosa e richiede la disponibilità di letteratura specializzata. Alcuni dati che permettono un'applicazione diretta vengono elencati di seguito:

- Rendzina. Sono suoli con profilo A/C che si sviluppano su calcare.
Indicatori in ambiente boschivo (soprattutto roverella – *Q.pubescens*):
 - *Buxus sempervirens*;
 - *Cercis siliquastrum*;
 - *Teucrium chamaedrys*;
 - *Melittis melissophyllum*;
 - *Asparagus tenuifolius*;
 - *Viola alba*.

- Terre brune. Sono suoli profondi, ad elevata fertilità, con humus tipo Mull e profilo A(B)C, che possono formarsi, generalmente in ambiente forestale, sia su substrati calcarei che silicei.

Indicatori (nella faggeta):

- *Cardamine bulbifera ed altre*;
- *Neottia nidus-avis*;
- *Melica nutans*;
- *Galium gr.sylvaticum*;
- *Viola reichenbachiana*;

Indicatori (nel querceto misto):

- *Anemone nemorosa, A. ranunculoides*;
- *Allium ursinum*;
- *Viola reichenbachiana*;
- *Ranunculus gr. Auricomus*.

- Suoli impoveriti. La formazione di suoli magri, di scarsa fertilità, con humus grezzo è dovuta a fenomeni di lisciviazione, prolungato trattamento a ceduo ed incendio, ed in generale condizioni distrofiche provocate da sovra-sfruttamento.

Indicatori (nelle brughiere):

- *Calluna vulgaris*;
 - *Potentilla erecta*;
 - *Solidago virgaurea*;
 - *Pteridium aquilinum*;
 - *Leucobryum glaucum*.
- Podzol. Suoli forestali di tipo ABC, con humus tipo Moder, e dove nell'orizzonte B si ha dilavamento che provoca acidificazione.
- Indicatori (nella pecceta):
- *Luzula luzulina*;
 - *Listera cordata*.
- Indicatori (nella faggeta):
- *Luzula luzuloides* (= *L. albida*).

6.3 Substrati: distinzione tra silice e calcare

Nel nostro paese si incontrano i substrati geologici più diversi, e spesso la vegetazione rileva questa diversità e vi si adatta, assumendo particolare composizione. La prima distinzione, e la più generale è tra substrati basici (generalmente calcarei) e substrati acidi (silice). Un'esposizione analitica dei rapporti tra vegetazione e substrato certamente supera i limiti di questo manuale: ci limiteremo pertanto ad elencare gli indicatori tra calcare e silice, scelti in vari contesti vegetazionali, rimandando per un approfondimento alle pubblicazioni specializzate.

Indicatori del calcare	Indicatori della silice
Alpi ed Appennini, collina e montagna	
<i>Silene otites</i>	<i>Calluna vulgaris</i>
<i>Scabiosa gramuntia</i>	<i>Artemisia campestris</i>
<i>Stachys recta</i>	<i>Hieracium pilosella</i>
<i>Teucrium montanum</i>	<i>Genista germanica</i>
<i>Carex humilis</i>	<i>Carex montana</i>
<i>Globularia cordifolia</i>	<i>Prunella vulgaris</i>
Appennini, in alta montagna	
<i>Sesleria tenuifolia</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i>
<i>Edraianthus graminifolius</i>	<i>Brachypodium genuense</i>
<i>Anthyllis montana</i>	
Alpi, sopra il limite degli alberi	
<i>Rhododendron hirsutum</i>	<i>Gentiana kochiana</i>
<i>Gentiana clusii</i>	<i>Oxyria digyna</i>
<i>Papaver gr. alpinum</i>	<i>Loiseleuria procumbens</i>
<i>Leontopodium alpinum</i>	<i>Juncus trifidus</i>
<i>Sesleria albicans</i>	

Indicatori del calcare	Indicatori della silice
<i>Rhododendron ferrugineum</i>	
Alpi, ambiente rupestre	
<i>Potentilla caulescens</i>	<i>Asplenium septentrionale</i>
<i>Potentilla nitida</i>	<i>Saxifraga bryoides</i>
<i>Primula auricula</i>	
Greti dei torrenti montani	
<i>Dryas octopetala</i>	<i>Epilobium fleischeri</i>
<i>Epilobium dodonaei</i>	
Serpentini	Vulcanico
<i>Alyssum bertolonii</i>	<i>Genista aetnensis</i>
<i>Centaurea carueliana</i>	<i>Rumex aetnensis</i>
<i>Asplenium cuneifolium</i>	<i>Astragalus siculus</i>

6.4 Ambiente costiero

Le coste d'Italia si sviluppano su circa 8.000 km di lunghezza, isole comprese; si hanno condizioni estremamente varie, che possono venire riassunte in almeno quattro tipologie principali, a seconda del substrato roccioso, fangoso oppure sabbioso. Gli indicatori vegetali sono in questi casi molto differenziati.

6.4.1 Coste rocciose e scogliere

Di fronte alle difficili condizioni di vita dell'ambiente marino, la natura del substrato diventa scarsamente rilevante ed anche la fondamentale differenza tra rocce silicee e calcaree passa in second'ordine. Il fattore ecologico di gran lunga prevalente è l'azione della salinità, che grosso modo dipende dalla distanza dalla linea di costa, che si può sviluppare in orizzontale oppure anche come differenza di altezza su rocce verticali.

Indicatori di ambiente esposto:

- *Crithmum maritimum*;
- *Limonium* (numerose specie localizzate).

Indicatori di ambiente riparato:

- *Daucus gingidium*;
- *Agropyrum pycnanthum*;
- *Centaurea cineraria*.

Indicatori di stazioni di endemismi mediterranei:

- *Chamaerops humilis*;
- *Anthyllis barba-jovis*;
- *Centaurea* (numerose specie localizzate).

6.4.2 Coste basse, fangose

Si tratta in generale di ambienti in erosione, nei quali l'acqua marina penetra nella falda freatica, così da rendere salato il suolo.

Indicatori:

- *Salicornia europaea*;
- *Salicornia fruticosa*;
- *Inula crithmoides*.

6.4.3 Lagune

Ambiente analogo al precedente, però dove si ha la formazione di un bacino chiuso, spesso con immissione di acque dolci, e quindi salinità molto variabile.

Indicatori:

- *Zostera noltii* (= *Z. nana*) praterie sottomarine;
- *Spartina maritima* – sommersa dall'alta marea;
- *Salicornia veneta* – sponde fangose.

6.4.4 Risalita d'acqua salmastra in primavera

Pholiurus incurvus

6.4.5 Coste sabbiose, spiagge e dune

I litorali sabbiosi sono in gran parte trasformati per usi turistici, e questo quasi ovunque ha comportato la distruzione della vegetazione naturale, che ora ha carattere di vero e proprio relitto.

Indicatori:

- *Ammophila australis*;
- *Elymus farctus* (= *Agropyrum junceum*);
- *Centaurea sphaerocephala*.

6.5 Pascolo

6.5.1 Pascolo bovino eccessivo

Le modificazioni sono causate sia dal calpestio degli zoccoli sulla cotica erbosa, sia dal prelievo selettivo di materiale vegetale ad opera degli animali al pascolo.

Indicatori (Alpi):

- *Nardus striata*;
- *Festuca nigrescens* (= *F. fallax*).

Litorale tirrenico nella Tuscia:

- *Cynara cardunculus*.

6.5.2 Pascolo ovino (Italia Mediterranea)

L'azione del pascolo ha portato allo stabilirsi di condizioni molto differenziate nelle varie parti della regione mediterranea, anche per il frequente uso dell'incendio, allo scopo di stimolare la crescita della cotica erbosa. Quindi gli indicatori di validità generale sono scarsi. Sulle Alpi il pascolo ovino è da tempo quasi ovunque abbandonato.

Indicatori:

- *Asphodelus microcarpus*;
- *Galactites tormentosa*;
- *Echium plantagineum*;
- *Sylibum marianum*.

6.5.3 Pascolo equino

Indicatori:

- *Festuca paniculata*

6.5.4 Concimaie (Alpi)

Presso le malghe, vicino alle stalle e recinti per il bestiame, durante tempi molto lunghi si sono riversati i liquami, producendo un eccessivo accumulo di sostanze concimanti. Le conseguenze sulla vegetazione sono evidenti anche molti decenni dopo l'abbandono delle attività di alpeggio.

Indicatori:

- *Rumex alpinus*;
- *Senecio alpinus*;
- *Urtica dioica*.

6.5.5 Stazzi (Italia mediterranea)

La concimazione prodotta dalla sosta delle pecore negli appositi recinti (stazzi) sull'Appennino ha selezionato una flora nitrofila con numerose specie del genere *Verbascum*.

Indicatori:

- *Verbascum longifolium*;
- *Verbascum macrurum*;
- *Verbascum niveum*;
- *Verbascum thapsus*.

6.6 Incendio

L'incendio è un evento del tutto naturale nell'ecosistema mediterraneo, mentre sulle Alpi va considerato un fatto abbastanza eccezionale e limitato ad ambienti a rischio, soprattutto le pinete. Quindi nel Mediterraneo si possono osservare forme di vegetazione strettamente collegate all'incendio, come la macchia e la gariga, mentre sulle Alpi si hanno soltanto effetti limitati. In linea generale l'incendio provoca la perdita di cationi dal suolo, che alla fine rimane costituito quasi soltanto da sabbia silicea; prevalgono dunque suoli acidi. Per la zona mediterranea gli indicatori di incendio vengono ripartiti a seconda della vegetazione prevalente.

6.6.1 Nel querceto misto caducifoglio

Indicatori:

- *Calluna vulgaris*;
- *Pteridium aquilinum*;
- *Juniperus communis*.

6.6.2 Nel bosco sempreverde (lecceta)

Indicatori:

- *Erica arborea*;
- *Quercus suber*.

6.6.3 Nella macchia e gariga

Indicatori:

- *Cistus salvifolius*;
- *Cistus monspeliensis*;

- *Cistus incanus*;
- *Erica arborea*;
- *Erica scoparia*;
- *Lavandula stoechas*.

6.6.4 Pratelli su suolo decalcificato a causa di ripetuti incendi

Indicatori:

- *Tuberaria guttata*;
- *Rumex bucephalophorus*;
- *Trifolium subterraneum*.

6.6.5 Antiche carbonaie

Si possono facilmente riconoscere nell'ambito della foresta sempreverde mediterranea, dove per secoli si è effettuata la produzione di carbone vegetale.

Indicatori:

- *Specie annuali del gen. Geranium*.

6.7 Ambiente forestale

Si tratta dell'ambiente più complesso sul nostro territorio. Molte caratteristiche ecologiche di questo ambiente sono già state trattate nei paragrafi precedenti, soprattutto per quanto riguarda il suolo ed il problema degli incendi. Qui ci si limiterà agli indicatori dell'ambiente luminoso sotto la chioma degli alberi. Vengono considerate separatamente le condizioni della foresta sempreverde (lecceta), caducifolia (querceto misto) ed aghifolia (pecceta e pineta).

Indicatori di luce ridotta	Indicatori di ambiente oscuro
Lecceta	
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	<i>Cyclamen repandum</i>
<i>Oryzopsis miliacea</i>	<i>Arisarum vulgare</i>
<i>Luzula forsteri</i>	<i>Asplenium onopteris</i>
<i>Rubus ulmifolius</i>	<i>Viola alba</i>
Querceto misto	
<i>Fragaria vesca</i>	<i>Allium ursinum</i>
<i>Sesleria autumnalis</i>	<i>Gagea lutea</i>
<i>Cruciata glabra</i>	<i>Asarum europaeum</i>
<i>Ajuga reptans</i>	<i>Festuca heterophylla</i>
Faggeta	
<i>Carex alba</i>	<i>Galium odoratum</i>
<i>Hepatica nobilis</i>	<i>Cardamine trifolia</i>

<i>Salvia glutinosa</i>	<i>Petasites albus</i>
<i>Mycelis muralis</i>	<i>Polystichum aculeatum</i>
Pecceta e Pineta	
<i>Erica herbacea</i>	<i>Oxalis acetosella</i>
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Maianthemum bifolium</i>
<i>Calamagrostis villosa</i>	<i>Dryopteris carthusiana</i>
<i>Carex alba</i>	<i>Moneses uniflora</i>

6.7.1 Specie saprofite

Sono specie prive di clorofilla che vivono in condizioni simbiotiche con funghi del suolo, indicatori di terreno molto ricco in humus di tipo Mull, ad elevata fertilità

- *Neottia nidus avis*;
- *Monotropa hypopitys*;
- *Lathraea squamaria*;
- *Lathraea clandestina*.

6.8 Zone umide

La casistica è immensa, con numerose variabili, delle quali tre sono le più significative:

- abbondanza dell'acqua – da ambienti con terreno umido ad ambienti regolarmente inondati, a vita in completa immersione nell'acqua.
- temperatura – da acque calde a fresche, fredde e gelide
- carico di nutrienti – da acque oligotrofe a mesotrofe ed eutrofe.

Queste tre condizioni corrispondono a tre dei parametri misurati negli indici di Ellenberg, quindi si rimanda ai dati di questo Autore. Qui vengono prese in considerazione soltanto alcune condizioni particolari.

6.8.1 Paludi in ambiente alpino

- Indicatori di acque a reazione neutro-basica:
 - *Carex davalliana*;
 - *Primula farinosa*;
 - *Pinguicula vulgaris*;
 - *Parnassia palustris*.
- Indicatori di acque acide ed oligotrofe:
 - *Carex fusca* (= *C. nigra*);
 - *Eriophorum scheuchzeri*;
 - *Viola palustris*;
 - *Juncus triglumis*.

- Indicatori di accumulo di torba (ambiente acido):
 - *Sphagnum rubellum*, *S. medium*, *S. magellanicum*;
 - *Carex pauciflora*;
 - *Oxycoccus microcarpus*, *O. pauciflorus*;
 - *Drosera rotundifolia*.

6.8.2 Suoli umidi lungo i corsi d'acqua

- Indicatori di ristagno d'acqua presso la superficie:
 - *Alnus glutinosa*;
 - *Frangula alnus*;
 - *Carex elongata*.

6.8.3 Canali in prossimità delle coste

- Indicatori di infiltrazioni di acqua salmastra
 - *Ruppia maritima*, *R. cirrhosa*;
 - *Potamogeton pectinatus*;
 - *Zannichellia palustris*.

6.9 Ambiente urbano

La valutazione precisa dell'indicazione di specie che si trovano sottoposte alle immediate conseguenze dell'azione umana può venire eseguita attraverso la valutazione del grado di emerobia (vedi paragrafo 5.5). Molto utilizzate sono anche le informazioni ricavate dalla distribuzione dei licheni (soprattutto corticicoli), che sono molto sensibili all'inquinamento atmosferico. Altre possibilità di bioindicazione vengono riportate qui sotto.

6.9.1 Ambienti calpestati

- Indicatori:
 - *Plantago major*;
 - *Sagina sp. pl.*;
 - *Bryum argenteum*.

6.9.2 Produzione di polline con allergeni (pollinosi)

- Indicatori:
 - *Parietaria judaica*;
 - *Urtica membranacea* (Italia mediterranea);
 - *Urtica dioica* (Italia Settentrionale).

6.9.3 Terreni urbani ricchi in nitrati

La città è il luogo nel quale si ha una tendenza spiccata verso l'accumulo di sostanze ricche di nitrati: essi derivano dall'attività dei viventi concentrati nell'ambiente urbano, come termine ultimo di molte trasformazioni metaboliche, e quindi dai rifiuti, scarti di ogni genere, alimenti abbandonati oppure cibo per gli animali domestici ed escrementi di questi, a cui si aggiungono concimazioni in eccesso nei giardini e nitrati prodotti durante la combustione nei motori a scoppio. L'eutrofizzazione è uno dei massimi problemi ecologici dell'ambiente urbano. La flora nitrofila deriva da ambienti naturali super-concimati, si concentra ai bordi delle strade oppure si espande in maniera invasiva.

- Indicatori di ambienti naturali super-concimati:
 - *Parietaria judaica* (nidi di uccelli);
 - *Lavatera maritima*;
 - *Fumaria capreolata*.

- Indicatori di nitrati ai bordi delle strade:
 - *Chenopodium sp. div.*;
 - *Aster squamatus*;
 - *Sonchus tenerrimus*;
 - *Rumex pulcher*.

- Indicatori con comportamento di specie invasive:
 - *Robinia pseudoacacia*;
 - *Ailanthus altissima*;
 - *Rubus ulmifolius*;
 - *Malva sylvestris*;
 - *Smyrnium olusatrum*.

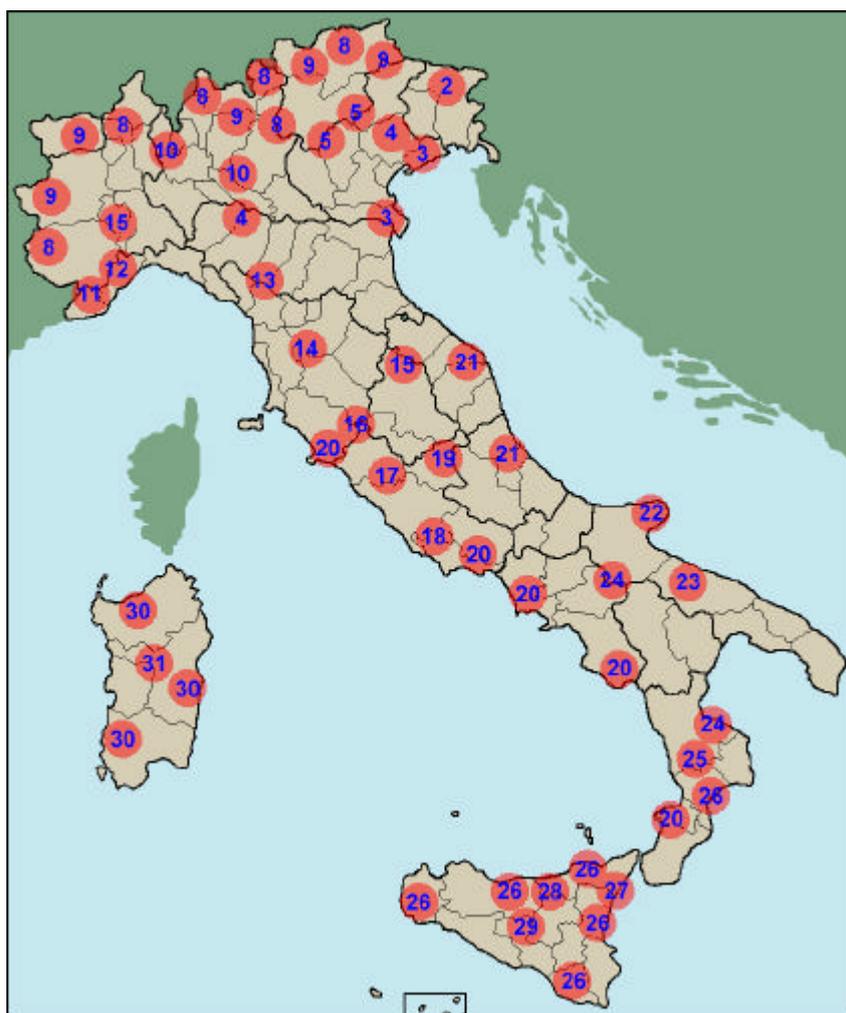
6.10 Paesaggio

Il paesaggio è la risultante della sinergia tra ambiente naturale, popolamento biologico (soprattutto vegetazione) e la capacità creativa dell'uomo. Ciò risulta particolarmente evidente nel nostro paese, dove le particolarità dell'ambiente hanno potuto sommarsi ad una diversità culturale trasmessa durante i millenni e raggiungere un risultato che è unico nel mondo, e viene largamente documentato dalle opere pittoriche e letterarie. In Italia il paesaggio è soprattutto paesaggio culturale, però anche le piante hanno un ruolo importante e ne costituiscono elementi spesso essenziali, così da poterne costituire veri e propri bioindicatori. Va tenuto presente che spesso si tratta di specie coltivate, che non appartengono alla flora indigena, ma questo è in accordo con il ruolo svolto sul territorio da chi lo abitava e contribuiva a plasmarlo. Spesso non si tratta di piante singole, ma di colture o di vegetazione utilizzata dall'uomo. Per questo si fa ampio uso

– soltanto in questo caso – delle denominazioni italiane, in luogo dei nomi scientifici delle specie coinvolte.

Vallate centroalpine	Alpi Orientali dall'Adda alla Carnia
Pino rosso (<i>Pinus sylvestris</i>)	Prati stabili (<i>Arrhenatheretum</i>)
Crespino (<i>Berberis vulgaris</i>)	Pascoli alpini (<i>Nardetum</i>)
<i>Rosa</i> sp. pl.	
	Langhe e Monferrato
Carso Triestino	La vigna
Pino nero (<i>Pinus nigra</i>)	
<i>Prunus mahaleb</i>	Liguria
<i>Cotinus coggygia</i>	Pino marittimo (<i>Pinus pinaster</i>)
Padania e Veneto	Penisola, su tutta l'estensione
Pioppo (su tutta l'estensione)	Ulivo
Marcite (bassa Pianura Lombarda)	
Risaie (alta Pianura Lombardo-Piemontese)	Calanchi e fascia delle argille plioceniche
	<i>Artemisia cretacea</i>
Toscana ed Umbria	<i>Hedysarum obscurum</i> (Sulla)
Cipresso	Ginestra (<i>Spartium junceum</i>)
Campagna Romana	Murge
Pino domestico (<i>Pinus pinea</i>)	Fragno (<i>Quercus trojana</i>)
Farnetto (<i>Quercus frainetto</i>)	
Italia meridionale, Isole	Sila
Carrubo (<i>Ceratonia siliqua</i>)	Pino silano (<i>Pinus laricio</i>)
Oleastro (<i>Olea sativa</i> var. <i>sylvestris</i>)	
Lecceta	Etna
Palma nana (<i>Chamaerops humilis</i>)	<i>Genista aetnensis</i>
	Betulla (<i>Betula aetnensis</i>)
Sicilia	Pino silano (<i>Pinus laricio</i>)
Agrumeti	
	Sardegna
Pantelleria	Sughera (<i>Quercus suber</i>)
Cappero (<i>Capparis spinosa</i>)	Ferula communis
	Euphorbia dendroides

6.11 Cartina dei tipi Paesistici in Italia



1-Carsico	16-Tuscia
2-Carnico	17-Campagna Romana
3-Lagunare	18-Pontino
4-Padano	19-Centroappenninico
5-Prealpino	20-Litorale Tirreno
6-Dolomiti Esterne	21-Litorale Adriatico
7-Dolomiti Interne	22-Garganico
8-Alpico	23-Murge e Salento
9-Valli Del Pino Silvestre	24-Sannitico-Lucano
10-Insubrico	25-Calabro Montano
11-Insubrico	26-Coste Siciliane
12-Ligure	27-Etneo
13-Appennino Settentrionale	28-Nebrodi
14-Toscano	29-Sicilia Interna
15-Umbro	30-Sardo Litorale
	31-Sardo Interno

BIBLIOGRAFIA

GENERALE

- Aichinger E. 1967 - Waldpflanzen als Standortsanzeiger. Oesterr. Agrar.-Verl., Wien
- Barkman J.F. 1969 - The influence of air pollution on bryophytes and lichens. Air pollution: 197-209
- Biasutti R. 1962 - Il paesaggio terrestre. UTET, Torino.
- Box E.O. 1981 - Macroclimate and plant forms: an introduction to predictive modelling in phytogeography. Tasks for vegetation science, vol 1. Den Haag: dr. Junk BV pub, 258 pp.
- Box E.O. 1987 - Plant life forms and mediterranean environments. Ann. Bot. XLV (2): 7-42
- Clements F.E. 1928 - Plant Succession and indicators. New York, 205 pp.
- Ellenberg H. 1974 - Zeigerwerte der Gefäpflanzn Mitteleuropas (Indicator values of vascular plants in Central Europe) Scripta geobotanica 9 ,2a edition (1979), 3a edition (1992). Gottingen
- Fenaroli L. Giacomini V. 1958 - La flora. Conosci l'Italia, 2. TCI, Milano.
- Ferrari et Al. 1986 - Le comunità vegetali come indicatori ambientali. Bologna, Assessorato Ambiente e Difesa del suolo.
- Grime J.P. 1979 - Plant strategies and vegetation processes Wiley, Chiccester
- Landolt E. 1977 - Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, H. 64. 208 pp.
- Leser H. 1978 - Landschaftsökologie. Stuttgart.
- Nimis P.L. 1989 - Biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico tramite licheni. Studia Geobot. 9: 153-250
- Pianka E.R. 1970 - On r- and k- selection. Amer. Natural. 104: 592-597
- Pignatti S. 1994 - Ecologia del paesaggio. UTET, Torino 228 pp.
- Pignatti S. 1995 - Ecologia vegetale. UTET, Torino 531 pp
- Pignatti S. 1998 - I boschi d'Italia. UTET, Torino, 677 pp.
- Pignatti S. 1982 - Flora d'Italia (3 voll.). Edagricole, Bologna.
- Pignatti S. Trezza B. 2000 - Assalto al pianeta. Bollati Boringhieri, Torino, 304 pp.
- Poldini L. 1989 - "La vegetazione del Carso Isontino e Triestino" (studio del paesaggio vegetale fra Trieste, Gorizia e i territori adiacenti). ed. Lint, Trieste.
- Raunkiaer C. 1934 - The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Clarendon press: 632 pp.
- Robyns W. 1969 - Une classification generale nouvelle des grand bioclimats saisoniers de la Terre. Vegetatio, 457
- Rodwell J.S. 1990 - British plant communities 1. Woodland and scrub. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sereni E. 1961 - Storia del paesaggio agrario italiano. Laterza, Bari.
- Sukopp H. Hejny S., Kowarik I., 1990 - Urban ecology SPB Acad. Publ. The Hague.
- Ulgiati S. 1998 - Advances in energy studies. Energy flows in ecology and economy. MUSIS, Roma
- Walter H. Lieth H. 1967-75. - Klimadiagramme Weltatlas. G. Fisher VEB, Jena
- Zarzycky K. 1984 - Indicator values of vascular plants in Poland (in polish). Krakow Inst. Bot. Polska Akad. Nauk, 45 pp.

Capitolo 1

- Box E.O. 1981 - Predicting physiognomic vegetation types with climate variables. *Vegetatio*, 45: 127-139
- Celesti Grapow L. 1995 - Atlante della Flora di Roma (La distribuzione delle piante spontanee come indicatore ambientale). Comune di Roma U.T.A., Università di Roma "La Sapienza" Dip. Biol. Vegetale. Argos ed.
- Del Favero R. 1999 - Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto. Regione veneto, Venezia.
- Drude O. 1888 - *Pflanzengeographie. Anleitungen zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen*, 2. Berlin: Neumayer.
- Ellenberg H. 1985 - The ecological behaviour and the ecological grouping of species: Indicator values with regard to particular habitat factors in *Vegetation of central Europe*. Cambridge University Press.
- Ellenberg H., Mueller-Dombois D. 1967 - A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. *Ber. Geobot. Inst. Rübél*, 37: 56-73
- Fanelli G. 1995 - La vegetazione e la flora infestanti in CIGNINI B., MASSARI G., PIGNATTI S., 1995, "L'Ecosistema Roma" pp. 91-95. Palombi ed.
- Griesebach A.H.R. 1872 - *Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung*. Leipzig: W.Englemann
- Hulbert M.K. 1971 - The energy resources of the earth. *Sci. Am.* 224 (3): 60-70.
- Humboldt A. von 1806 - *Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse*. Stuttgart: Cotta 28 pp.
- Nimis P.L. 1985 - Urban Lichen Studies in Italy. I: the town of Trieste. *Studia Geobot.*, 5: 49-74.
- Nimis P.L. 1986 - Urban Lichen Studies in Italy. II: the town of Udine. *Gortania*, 7 : 147-172.
- Nimis P.L. 1989 a - Urban Lichen Studies in Italy.III: the city of Rome. *Ann. Bot.*
- Nimis P.L. 1989 b- I licheni come indicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio, Thiene, Breganze (VI). *Boll. Mus. Civ. St. Nat. Verona* 16: 1-154
- Odum H.T. 1957 - Trophic structure and productivity of Silver Springs (Florida) *Ecological Monographs* 27: 55-112
- Pignatti S., Dominici E., Pietrosanti S. 1998 - La biodiversità per la valutazione della qualità ambientale. *Atti Convegni Lincei n. 145*, pp. 63-80. Accad. Naz. dei Lincei, Roma.
- Pignatti S., Ellenberg H., Pietrosanti S. 1996 - Ecograms for phytosociological tables based on Ellenberg's Zeigerwerte. *Ann. Bot. (Roma)* 54: 5-14.
- Raunkiaer C. 1907 - *Planterigetets Livsformer og deres Betydning for Geografien*. København
- Vareschi V. 1968 - Comparacion entre selvas neotropicales y paleotropicales en base a su espectro de biotipos. *Acta Botan. Venez.*, 3: 239-263
- Warming E. 1895 - *Plantesamfund: Grundtræk af den Ökologiska Plantgeografi*. København
- Werner W. & Paulissen D. 1992 - Programm VEGBASE Datenbank der Zeigerwerte und deren Auswertung mit dem Personalcomputer. *Scripta Geobot.* 18: 238-247.
- Zuccarello V., Allegranza M., Biondi E., Calandra R. 1999 - Valenza ecologica di specie e di associazioni prative e modelli di distribuzione lungo gradienti sulla base della teoria degli insiemi sfocati (fuzzy set theory). *Braun-Blanquetia* 16: 121-225

Capitolo 2

- Braun-Blanquet 1964 - Pflanzensoziologie, 3st ed. - Springer, Wien
- Feoli E. 1976 - Correlation between single ecological variables and vegetation by means of cluster analysis - Not. Fitosoc. 12: 77-82
- Feoli E., Lagonegro M. 1979 - Intersection analysis in Phytosociology: computer program and application - Vegetatio 40: 55-59
- Feoli E., Lagonegro M. 1982 - Syntaxonomical analysis of beech woods in the Appennines (Italy) using the program package IAHOPA - Vegetatio 50: 129-173
- Feoli E., Lausi D. 1981 - The logical basis of syntaxonomy in vegetation science - In DIERSCHKE H. - Syntaxonomie: 35-42
- Feoli E., Lagonegro M., Orloci L. 1982 - Information analysis in vegetation research - Preprint ed. Univ. di Trieste, Univ. of W. Ontario
- Landolt E. 1977 - The importance of closely related taxa for the delimitation of phytosociological units - Vegetatio 34: 179-189
- Pignatti S, Dominici E. Pietrosanti S. 1998 - La biodiversità per la valutazione della qualità ambientale. Atti dei convegni Lincei: 63-80.
- Pignatti E., Pignatti S., Pietrosanti S. E Paglia S. 1996 - La flora delle Dolomiti come archivio informatizzato - Ann. Mus. civ. Rovereto, Suppl. II Vol. 11(1995): 27-43
- Walter H., Lieth H. 1960 - Klimatogramm-Weltatlas - Gustav Fischer, Vienna.
- Whittaker R. H. 1972- Gradient analysis of vegetation - Biol. Rev., 49: 207-264

Capitolo 3

- Inprise, 1999 - Borland Delphi5 Guida alla programmazione. Inprise Corp.: 12.1-12.16.
- Laddomada C. 1996 - Usare subito Delphi. Jackson libri: 117-134.
- Laddomada C., Madaffari G. 1997 - Delphi3. Jackson libri: 218-259.
- Microsoft, 1999 - Quick Course Microsoft Access 2000. Online Press Inc. 1-33; 106-137.
- Pignatti S, Dominici E. Pietrosanti S. 1998 - La biodiversità per la valutazione della qualità ambientale. Atti dei convegni Lincei: 63-80.
- Pignatti S. 1975 - Zum Stand der floristischen Kartierung Mitteleuropas in Norditalien. Goettinger Flor. Rundbriefe 2: 61-63.
- Pignatti S. 1979 - Dieci anni di cartografia floristica nell' Italia di Nordest. Inform. Bot. Ital. 10: 212-219.
- Pignatti S., Ellenberg H., Pietrosanti S. 1996 - Ecograms for phytosociological tables based on Ellenberg's Zeigerwerte. Annali di botanica: 5-14.
- Riordan R.M. 1999 - Designing Relational Databases. Microsoft press.

Capitolo 4

- Della Rocca A.B., Rossi L. 1992 - Il sistema EDI (ENEA Digital Imagery). RT/INN/91/26 ENEA Roma
- Iucn 1997 - Red List of Threatened Plants

- Miller J.N., Brooks R.P., Croonquist M.J. 1997 - Effects of landscape patterns on biotic communities. *Landscape Ecology* 12: 137-153
- Pignatti S. 1959 - Il popolamento vegetale. Ricerche sull'ecologia e sul popolamento delle dune del litorale di Venezia. *Boll. Mus. Civ. Venezia*. Vol. XII pp. 61:42
- Pignatti S. 1980 - I complessi vegetazionali del Triestino, *Studia Geobot.*, 1:131-147
- Pignatti S. 1980 - I piani di vegetazione in Italia. *Giornale Bot. Ital.*, 113:411-428.
- Pignatti S. 1981 - Carta dei complessi di vegetazione di Cortina d'Ampezzo. AQ/1/189, CNR, Roma.
- Pignatti S. 1994 - *Ecologia del paesaggio*. Utet, Torino.
- Rodwell J.S. 1995 - *British plant communities 5. Aquatic communities, swamp and tall-herb fens*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Turnet M.G., Ruscher C.L., 1988 - Changes in landscape patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*. 1: 241-251

Capitolo 5

- Blasi C., Dowgiallo G., Follieri M., Lucchese F., Magri D., Pignatti S. & Sadori L. 1995 - La vegetazione naturale potenziale dell'area romana. in *La Vegetazione Italiana*. Atti dei Convegni Lincei 115: 423-457. Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- Celesti Grapow L con la collab. di P. e il contributo di Fanelli G. e Lucchese F. 1995 - *Atlante della flora di Roma*. La distribuzione delle piante spontanee come indicatore ambientale. Argos Edizioni Roma.
- Celesti L., Menichetti A, Petrella P. 1989 - Floristic analysis in the metropolitan area of Rome. *Braun-Blanquetia* 3: 38-44.
- Conte M. & Palmieri S., 1990 - Tendenze evolutive del Clima in Italia in Atti dei Convegni Lincei 82. *Atmosfera e Clima*, pagg 167-187, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- Cornelini P. 1993 - Il valore del verde a Roma. *Verde Ambiente* 67-77.
- De Lillis M. & Testi A. 1984 - Popolamenti a *Quercus suber* in località valle dell'Inferno (Roma). *Ann. Bot. (Roma) suppl* 2, studi sul territorio: 51-70.
- Ellenberg H., 1985 - The ecological behaviour and the ecological grouping of species: Indicator values with regard to particular habitat factors in Ellenberg H., *Vegetation of central Europe* - Cambridge University Press.
- Fanelli G. 1989/90 - La vegetazione dell'area SW di Roma. Tesi di Laurea, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche, Naturali, Università di Roma La Sapienza, Roma.
- Fanelli G. 1995 - La vegetazione e la flora infestanti - in Cignini B., Massari G. & Pignatti S. eds *L'ecosistema Roma*. Fratelli Palombi Editori, Roma.
- Kowarik I. 1990. - Some responses of flora and vegetation to urbanization in Central Europe. in Sukopp H., Hejny S. & Kowarik I. *Urban Ecology. Plants and plant communities in urban environments*. SPB Academic Publishing The Hague.
- Menichetti A., Petrella P. & Pignatti S., 1989 - Uso dell'informazione floristica per la valutazione del grado di antropizzazione nell'area urbana di Roma - *Informatore Botanico Italiano*, 21: 163:172.
- Minghetti P. 1999 *Naturalità della vegetazione del Trentino-Alto Adige (co ncarta 1:250.000)*. Centro di Ecologia Alpina, report n. 20, Trento.

- Montellucci G. 1954 - Flora e vegetazione della Valle dell'Inferno - *Annali di Botanica*, 24/2: 241-289.
- Pignatti S. 1999 - Produttività di ecosistemi. in AAVV - *Ecologia Vegetale* pp 275-296. UTET, Torino.
- Rossi L., Nobile L. 1995 - Energetica metropolitana e indicatori ecologici nel Tevere. In Cignini B., Massari P. & Pignatti S. (eds). *L'ecosistema Roma*. Fratelli Palombi, Roma.
- Rossi L. 1991 - A study of the energy flux of Rome Urban Ecosystem and impact sensitivity of bioindicators in River Tevere. in Bonnes M. (ed.) *Perception and evaluation of urban environment quality. A pluridisciplinary approach in the European context*. MAB Project 11 Proceedings of the International Symposium pp 295-313.