

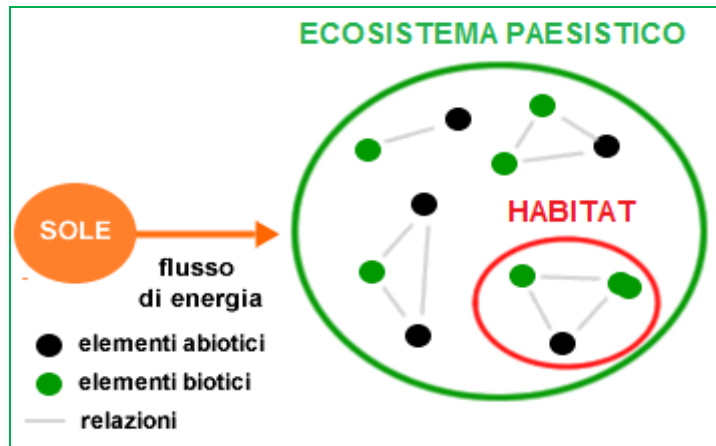
ECOLOGIA DEL PAESAGGIO

(Luigi Fanizzi - ECOACQUE®)

1. La disciplina dell'Ecologia del Paesaggio ed il suo Metodo base

Essendo un ramo disciplinare abbastanza giovane, l'Ecologia del Paesaggio si presenta, oggi, sotto diverse scuole di pensiero scientifico, la cui metodologia principale si può denominare come:

Matriciale: basata, cioè, sullo studio spazio-temporale (*modello dinamico*) delle configurazioni dei suoi elementi costitutivi, dette **matrici abiotiche** (*Aria, Acqua e Suolo*), su una base di un ecosistema paesistico integrato (naturale e/o artificiale od antropico), riconoscibile come habitat dominante di determinati **matrici biotiche** (organismi viventi: **animali** e/o **vegetali**).



Ecosistema Paesistico ed Habitat.

L'importanza dell'Ecologia del Paesaggio, è accresciuta dal fatto che il rapporto Uomo-Natura, si presenta in tutta la sua pienezza *bionomica*, proprio a scala di paesaggio, dove gli ecosistemi naturali e quelli artificiali (cd *antropici*), si integrano proprio ad un livello di complessità, semplicemente impossibile a scale inferiori.

2. Importanza del concetto di Ecotessuto

Il modello strutturale del Paesaggio, come quello matriciale dinamico, prevede un ecotessuto, cioè una struttura multidimensionale, individuata da un Mosaico di base e da un insieme gerarchico di Tessere correlate. Oltre al termine "Tessera", si può utilizzare, per ogni Unità di Paesaggio, il termine "Ecotopo" (più piccolo Elemento unitario multidimensionale del Paesaggio – EdP - formato da non meno di due tipi di ecogenotipi diversi ed interagenti). L'ecotopo va, però, inteso non solo come biogeocenosi, cioè con denotazione ecosistemica ma, anche, come espressione di un ruolo paesistico, cioè di nicchia territoriale con funzioni individuabili nel contesto del paesaggio. Per Unità di Paesaggio (UdP) o Biogeodistretto (semplice o complesso), si definisce una parte di un Paesaggio che assume particolari e ben distinguibili caratteri e/o funzioni (geomorfologia, geolitologia, idrologia, topografia, permeabilità, copertura vegetale, idrografia e conoidi, pedologia, antropizzazione), con confini ben identificabili rispetto all'intero Paesaggio.

3. Schema Metodologico per lo studio dello stato ecologico di una Unità di Paesaggio (V. Ingegnoli ed E. Giglio, 2005 – Ecologia del Paesaggio, Sistemi Editoriali, Giuliano - NA)

Uno schema metodologico, opportuno, per lo studio di una certa Unità di Paesaggio (UdP), può essere esposto come segue:

- I) Obiettivi principali dello studio;
- II) Inquadramento e struttura dell'UdP;
- III) Componenti territoriali (attuali o pregresse);
- IV) Operazioni di analisi e valutazione dell'UdP;
- V) Diagnosi preliminari dello stato ecologico;
- VI) Criteri terapeutici d'intervento;
- VII) Controlli e cenni di gestione.

I) Obiettivi principali dello studio

Dato un certo territorio da esaminare, dai sopralluoghi tecnici di rilievo e di reportage fotografico effettuati, nonché dalla cartografia di base, si osserva che è necessario esprimere una serie di obiettivi, nel senso di indicazione sugli scopi principali dello studio da effettuare onde:

- a) Controllare la struttura all'interno dell'UdP;
- b) Studiarne la dinamica storico-ecologica;
- c) Controllare la pressione antropica ed adeguare gli indirizzi gestionali.

II) Inquadramento e struttura dell'UdP

Va effettuato in opportuna scala, per collocare il territorio in oggetto nel suo sistema paesistico e la struttura dell'UdP, onde argomentare:

- a) Limiti naturali ed antropici evidenti dell'UdP;
- b) Limiti di tipo ecotonale (cd *gradiente*) dell'UdP;
- c) Dati generali dell'UdP (superficie, municipalità ed abitanti) ai fini di individuare i principali ecotopi.

III) Componenti territoriali attuali e nel passato

Evidenziazione delle principali tematiche dell'uso del suolo attuali (boschi, prati, pascoli, seminativi, frutteti, urbano e sussidiario, agricolo produttivo ed idrogeologico improduttivo), possibilmente con distinzioni per caratteristiche ecologiche, specificandone, cioè, almeno le principali fisionomie, relative a:

- a) Misure di superficie delle tematiche relative all'intera UdP e dei suoi abitanti (attuali o pregressi);
- b) Ricostruzione delle tematiche, pregresse, equivalenti;
- c) Loro misura nell'UdP.

IV) Operazioni di analisi dell'UdP

La sequenza delle operazioni di analisi e valutazione è spesso complessa per cui è meglio suddividere per parti, riguardanti struttura, funzioni e trasformazioni:

- a) Carte delle pendenze, dei crinali e della rete idrografica (superficiale e sotterranea);
- b) Analisi della vegetazione, della diversità strutturofunzionale (τ), delle possibili connettività (γ) e circuitazioni (α);
- c) Determinazione degli Habitat (Naturali ed Antropici) e dimensione di componenti rilevanti (dominanza \Rightarrow D), stima dei livelli di BTC, HU, di eterogeneità (H), di dinamica specifica degli HU/BTC e bionomica generale degli HU/LM_g.

V) Valutazioni e diagnosi preliminari dello stato ecologico

Considerazioni clinico-diagnostiche sulle analisi e sulle valutazioni effettuate e confronto con i **modelli di normalità ottimale**:

- a) Valutazione delle vocazionalità di piano ammissibili sul Modello HU/BTC;
- b) Compatibilità ecologica delle attività industriali;
- c) pressione antropica sulle aree naturali e sintesi delle principali sindromi dell'UdP.

VI) Criteri terapeutici d'intervento

Gli interventi necessari, anche se diversi, devono essere eseguiti secondo criteri di priorità:

- a) Pianificazione e progetto di adeguati corridoi ecologici;
- b) Pianificazione e progetto di possibili nuove aree attrezzate collegate, nell'UdP, a definiti ingressi;
- c) Miglioramenti e recuperi possibili delle aree degradate.

VII) Controlli e cenni di gestione.

Dopo aver inserito le conseguenze dovute ai progetti nei principali modelli diagnostici, si dovrà constatare una tendenza di effettivo miglioramento dello stato ecologico dell'UdP aggiungendo cenni di gestione, secondo criteri di Ecologia del paesaggio, per categorie normative.

4. Apparati paesistici e loro identificazione

Gli apparati più riconoscibili, nei paesaggi europei, possono essere ricondotti a due grandi gruppi, quelli riferibili all'Habitat Umano (HU) e quelli riferibili all'Habitat Naturale (HN). In Particolare, per:

- Habitat Umano, si intende l'insieme dei luoghi dove l'Uomo compie attività in permanenza (residenzialità) o ha modificato in maniera sostanziale le tessere presenti limitando la capacità di auto-regolazione dei sistemi naturali (apparati artificiali od antropici);
- Habitat Naturale (e Seminaturale) si intende l'insieme delle tessere complementari del territorio, che hanno una presenza umana solo saltuaria ovvero momentanea, in cui l'Uomo non vive in permanenza (apparati naturali). Tale habitat ha capacità di perpetuazione e riproduzione affidate, prevalentemente, alle sue capacità e potenzialità intrinseche.

Habitat Umano Prevalente:

- RSD:** Residenziale (sistemi di residenza umana e funzioni dipendenti, lotti edificati di residenza, aree edificate di servizi di quartiere, aree mercatali, aree scolastiche, aree ospedaliere, aree di culto, aree di uffici amministrativi, strade urbane e piazze, aree di parcheggio, aree improduttive: rocce affioranti, lagune, mare litorale, fiumi, e spiagge).
- SBS:** Sussidiario (grandi infrastrutture di trasporto (aereo, navale e ferroviario), viabilità autostradale, infrastrutture di energia ed industria, aree industriali, aree artigianali, capannoni commerciali, stazioni ferroviarie ed automobilistiche, reti nazionali di trasporto, reti tecnologiche importanti, aree intermodali e di grande deposito, grandi infrastrutture per lo sport come autodromi e stadi, idrovie, canali d'acqua).
- PRD:** Produttivo (elementi con alta produzione di biomassa come legnose agrarie, peschiere, seminativi, orti, vigneti, oliveti, frutteti, pioppeti, colture foraggere, strade campestri, fossi, piccole cascate e ricoveri agricoli).
- PRT:** Protettivo (elementi in grado di proteggere altri elementi o parte del mosaico e.g. siepi, filari alberati, parchi ed orti urbani, grandi giardini, boschetti residui, corridoi vegetati di protezione in generale, verde attrezzato, verde a campeggio, aree di esondazione, casse di espansione e laminazione).

Habitat Naturale (e Seminaturale) Prevalente:

- HGL:** Idrogeologico naturale (elementi improduttivi a bassa BTC, come acque, ghiacciai, rocce e sabbie)
- RESL:** Resiliente (elementi con alta capacità di recupero, argini, elementi a bassa BTC come prati, pascoli, arbusteti e vegetazione psammofila).
- RSN:** Resistente meta stabilizzante (elementi con alta capacità di resistenza cioè con alta meta stabilità, boschi (cedui, decidui, di conifere o latifoglie), macchie di foresta matura, vegetazione casse di colmata: *tifa, salicornia, canne di palude, giunchi, tamerici, ruppia marittima, puccinellia palustris*).

Per gli studi sul Paesaggio, risulta fondamentale anche la quantificazione dei dati che va eseguita sempre ricordando la multifunzionalità degli stessi. Tale stima si può fare, pertanto, dando un peso convenzionale ad ogni Classe di funzioni e, tale peso, dipende dalle caratteristiche e dall'importanza della funzione stessa ed è completamente indipendente dall'estensione superficiale della tessera.

Classi d'importanza	Classe di funzione	Peso convenzionale d'influenza
Dominanti	A	0,90
Importanti	B	0,40
Secondarie	C	0,20
Minori	D	0,10

Ordinamento delle funzioni paesaggistiche per apparato d'importanza.

Nell'esempio che segue, si riportano, nella matrice sinottica, i valori di superficie, in percentuale (escludendo la superficie improduttiva idrogeologica HGL: acque, rocce e sabbie; perché assente), per l'anno 2019 e si esprimono le funzioni aggiuntive, secondo il loro peso come da summenzionata tabella ordinale.

Apparati Paesistici (EdP) e Classi di tessere relative	2019	RSD	SBS	PRD	PRT	RSL	RST
I Abitativo (RSD)	N.B.: Classe 0 Idrogeologico nat./HGL = 0 (Assente)						
Urbanizzato e strade	12,1	0,90	0,2		0,1		
I Sussidiario (SBS)							
Industriale	3,5	0,1	0,90				
Viabilità extraurbana	3,7		0,9				
Aeroporti	0,7		0,9				
Vie d'acqua	12,3		0,9				
II Produttivo (PRD)							
Seminativi	56,5			0,9		0,1	
Legnose agrarie	1			0,9	0,1		
Peschiere	1,2			0,9			
III Protettivo (PRT)							
Verde attrezzato	5,2	0,1			0,9		
Verde Campeggi	0,7	0,2			0,9		0,1
IV Resiliente (RSL)							
Arbusteti	0,2				0,2	0,9	
Veg. psammofila	0,2				0,1	0,9	
V Resistente (RSN)							
Boschi	0,5				0,4	0,1	0,9
Veg. Casse colmata	2,0				0,2		0,9
	100	11,9	20,6	52,8	7,3	6,2	2,3

Dalla suesposta matrice sinottica, si ricavano le percentuali complessive per apparato spaziale paesistico e per riferimento temporale. Ovviamente come capita, di solito, nelle misure delle componenti dell'ecotessuto, la somma dei pesi convenzionali, per funzione ecologica, può essere diversa da **100**, per cui è necessario normalizzare i risultati, rendendoli proporzionali a **100** in modo che siano confrontabili per ogni riferimento temporale (passato ovvero futuro).

ANNO	RSD	SBS	PRD	PRT	RSL	RST	NORM.
2019	11,9	20,6	52,8	7,3	6,2	2,3	101,10
	11,8	20,4	52,2	7,2	6,1	2,3	100

Valutazioni complessive degli apparati paesistici e loro normalizzazione (%).

Per quanto riguarda la classe di rilievo, si evince che per ognuna delle cinque classi il punteggio Massimo è pari a **52,20** mentre il punteggio Minimo è pari a **2,3**, quindi l'ampiezza utilizzabile dei valori è pari a: $\Delta = (\text{MAX} - \text{MIN}) = 49,9$; per cui, per esempio, per la Classe Urbana Residente RDS, la rilevanza, per il suo rispettivo valore ($\text{VAL} = 11,8$), sarà pari a:

$$\text{CdR}_{\text{RDS}} = 100 \cdot (\text{VAL} - \text{MIN}) / \Delta = 100 \cdot (11,8 - 2,3) / 49,9 = 19,0 \Rightarrow 0 + 25: \text{Classe D}$$

5. Analisi della connettività e della circuitazione all'interno di un ecosomaico

Utilizza il modello cosiddetto dei **grafi planari** di R. T. T. Forman, M. Godron; 1986 (Landscape Ecology, J. Wiley & Sons, New York) e, in Ecologia del Paesaggio, ha come scopo la misura della connettività (cioè delle connessioni esistenti) tra gli elementi a vegetazione arborea ed alto arbustiva all'interno di un ecosomaico, quindi, la verifica dell'esistenza o meno e dello stato di una rete ecologica di circuitazione. Con questo metodo, nell'UdP, si rilevano gli aspetti di connessione, cioè di legame e gli aspetti di circuitazione, cioè la possibilità che attraverso detto tipo di elemento connesso, si possa realizzare il movimento del fattore in esame in maniera circolare, con la possibilità di ritorno al punto di partenza, senza passare mai due volte dallo stesso punto. Una volta eseguito ciò, si tratterà di evidenziare la presenza di elementi identificabili come nodi o vertici (V) e di quelli che svolgono, invece, la funzione di legami (L). Un aspetto interessante di questa metodologia è che questi grafi possono essere risolti anche matematicamente in maniera abbastanza semplice, tramite due indici: l'indice di connettività γ e l'indice di circuitazione α , le cui rispettive formule sono (M.G. Gibelli, A. Russi, F. Palmeri, 1996 – Considerazioni sugli indici di Ecologia del Paesaggio: connettività e circuitazione – Genio Rurale, N. 4, Edagricole – BO):

$$\gamma = L/L_{\max} = L/[3 \cdot (V-2)] \quad \text{e} \quad \alpha = C/C_{\max} = (L - V + 1)/(2 \cdot V - 5)$$

Con

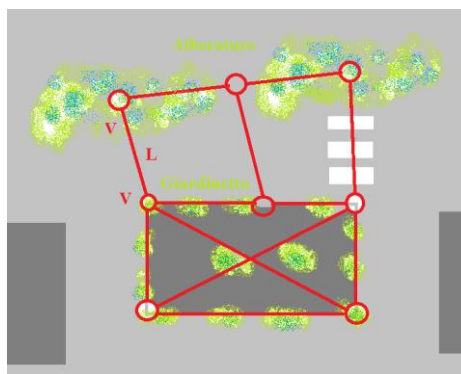
L = numero di legami (L_{\max} = legami massimi);

V = numero di nodi o vertici;

C = numero di circuitazioni (C_{\max} = circuitazioni massime).

Per avere dei riferimenti ecologici sintetici, si può ricorrere ai valori del rapporto **L/V**, se **< 1** (negativo) la circuitazione è nulla. Quelli, normalmente più frequenti, per tipo di paesaggio, sono: **0,50 ÷ 0,75** per i **paesaggi urbani**; **0,60 ÷ 0,85** per quelli **suburbani**; **0,75 ÷ 1,15** per quelli **agricoli** e **> 1,0 ÷ 1,20** per quelli **agricolo forestali**. L'indice γ può avere valori compresi tra **0** (assenza di connessioni) e **1** (rete totalmente connessa), mentre l'indice α , può variare da valori negativi (assenza di circuitazione) a valori positivi, fino ad un massimo di **1** (circuitazione completa). L'indice globale di Connessione ecologica (CON_e), variabile, normalmente, fra **0 e 2**, sarà dato da:

$$CON_e = (\gamma + \alpha);$$



Esempio di grafo planare.

6. Analisi della funzionalità in rapporto alla Biopotenzialità territoriale

La biopotenzialità territoriale (V. Ingegnoli, 1997 – Esercizi di Ecologia del Paesaggio, Città Studi Edizioni, Vignate – MI) o capacità biologica del territorio rappresenta una grandezza [che si misura in (Mcal/m²)/anno], ma si utilizza anche come indice (stimandola attraverso particolari parametri), nella Metodologia di Classificazione Standard di **BTC**, che rappresentano una normalizzazione del range di valori misurabili nei tipi di ambiente temperato e boreale: tali classi sono, essenzialmente sei (0-V). In particolare le classi sono le seguenti:

Classe **0**: 0÷0,2 (0,1) – Acque litorali, ghiacciai, rocce, sabbie (ambienti idrogeologici improduttivi);

Classe **I**: 0÷0,4 (0,2) – deserto, semideserto, laghi fiumi, piattaforma continentale, praterie o tundra degradati, arbusteti suburbani (e, per parallelismo ambienti urbani RSD e sussidiari SBS). Resilienza/Disturbo > 1; Resistenza/Disturbo < 1.

- Classe II:0,4÷1,2 (0,8) – Praterie, tundra, campi coltivati, verde urbano, arbusteti degradati (e, per parallelismo ambienti agricoli produttivi tecnologici PRD);
- Classe III:1,2÷2,4 (1,8) – Praterie arbustate, canneti, arbusteti bassi, savana a graminoidi, piantagioni arboree, frutteti e giardini, verde urbano (e, per parallelismo ambienti agricoli produttivi seminaturali protettivi PRT). Resilienza/Disturbo = Resistenza/Disturbo = 1;
- Classe IV:2,4÷4,0 (3,2) – Foreste giovani, foreste di savana secca, savane arbustate, paludi praterie umide o marcite, cedui di boschi temperati, frutteti seminaturali, parchi suburbani seminaturali (e, per parallelismo ambienti agroforestali seminaturali resilienti RSL);
- Classe V:4,0÷6,4 (5,2) – Foreste naturali, foreste adulte, foreste di mangrovie, paludi praterie umide tropicali, colture perenni tropicali, macchia mediterranea (ed arbusteti assimilabili), oliveti seminaturali, foreste boreali, boschi (e, per parallelismo ambienti naturali resistenti RNT). Resilienza/Disturbo < 1; Resistenza/Disturbo > 1.

7. Eterogeneità, dominanza, evennes e diversità strutturo-funzionali di paesaggio

Sono indici dell'ecologia tradizionale, applicati allo studio strutturale e funzionale dell'UdP. Le formule si rifanno alla formula entropica di C. E. Shannon e W. Weaver, 1949 (*La teoria matematica delle comunicazioni*, Etas Kompass, Milano, 1971), la variabile non sarà più la superficie percentuale occupata dai differenti elementi del paesaggio, bensì dalla percentuale di presenza delle cinque classi standard di BTC. Le formule, pertanto, saranno:

$$\text{Eterogeneità strutturo-funzionale: } H_{sf} = - \sum_{k=1,5} p_k \cdot \ln(p_k)$$

e

$$\text{Dominanza strutturo-funzionale: } D_{sf} = \ln(s) + H_{sf}$$

Con: s uguale a 5 (pari, cioè, al numero delle classi standard rinvenibili sui territori europei) e p_k percentuale di superficie occupata dalla k-esima classe di superficie totale dell'UdP. Il $\ln(s)$ corrisponde alla massima possibile eterogeneità, indicata come H_{max} , valore che si raggiunge nel caso in cui tutte le classi siano presenti con la stessa percentuale di superficie (0,20); in questo caso il valore di H_{max} è pari a 1,6094 e, di conseguenza, risulterebbe $D_{max} = 2 \cdot H_{max} = 3,2188$. Evennes strutturofunzionale (equiprobabilità relativa, della eterogeneità, in rapporto alla massima teorica):

$$E_{sf} = (H_{sf}/H_{max}) \cdot 100 \text{ (variabile da } 0 \div 100)$$

Con H_{sf} pari alla eterogeneità strutturofunzionale dell'UdP. La diversità paesistica strutturo funzionale, infine, è pari a:

$$\text{Diversità strutturofunzionale: } \tau = H_{sf} \cdot (3 + D_{sf}).$$

Questo parametro, esprime il contenuto minimo d'informazione dell'UdP (espresso in bit) e permette di valutare il livello di equilibrio fra i due parametri (H_{sf} e D_{sf}), relativamente al numero delle classi considerate. Nella tabella successiva si riporta un esempio di calcolo di questi indici per la stessa UdP (HGL assente).

Classi standard BTC [(Mcal/m ²)/anno]	Area (ha)	Area p_k (%)	$\ln(p_k)$ (-)	$-p_k \cdot \ln(p_k)$ (-)
I	14,45	0,4	- 5,5	0,022
II	3.752,6	91,5	- 0,1	0,0915
III	191,5	4,7	- 3,1	0,1457
IV	127	3,0	- 3,5	0,105
V	16	0,4	- 5,5	0,022
Σ	4.106,60	100	- 17,70	0,39
$H_{sf} = - \sum_{k=1,5} p_k \cdot \ln(p_k)$	$0 < \mathbf{0,39} < 1,61$			
$D_{sf} = \ln(s) + H_{sf}$	$1,61 < \mathbf{2,0} < 3,22$			
$H_{max} = \ln(s)$	1,61			
$E_{sf} = H_{sf}/H_{max}$	$0 < \mathbf{0,24} < 1$			
$\tau = H_{sf} \cdot (3 + D_{sf})$	$0 < \mathbf{1,95} < 10$			

8. Il modello di normalità ottimale HU-BTC

La valutazione dei risultati delle analisi effettuate, avviene secondo un modello che ha lo scopo di calcolare la BTC_m media dell'Habitat Naturale (HN) e quella dell'Habitat Umano (HU o Human Habitat HH), differenziando tutta la superficie dell'UdP, in studio, che può essere ascritta all'HU (ambiente antropizzato) e quella che compete, invece, alla restante parte (ambiente naturale), onde poter studiare la biologia ambientale, della natura, secondo una scala di paesaggio integrato (V. Ingegnoli, 2011: Bionomia del Paesaggio - Springer-Verlag Italia - MI).

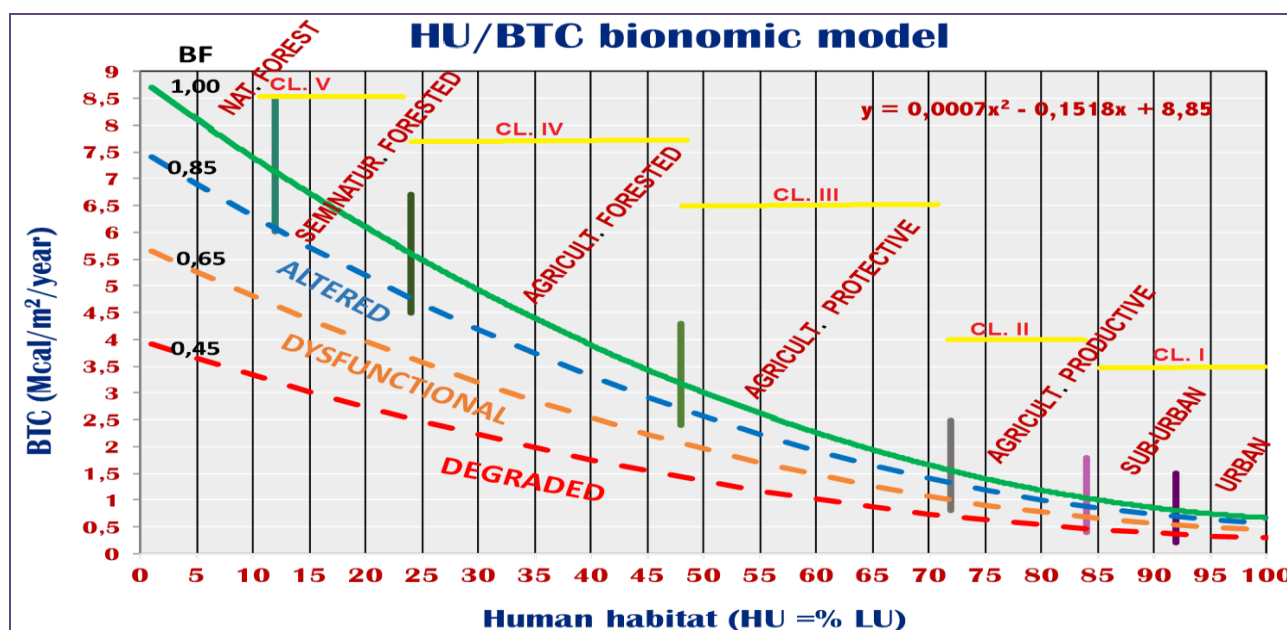
C.C.L.C	Elementi di Paesaggio (EdP)
124	Aeroporti
123	Aree portuali
131	Aree estrattive
132	Discariche
133	Cantieri
122	Infrastrutture di trasporto
121	Aree industriali e commerciali
523	Mari costieri
511	Corsi d'acqua, canali, idrovie
512	Bacini d'acqua
521	Lagune
112	Tessuto urbano discontinuo, strade e viabilità
111	Tessuto residenziale urbano continuo
211	Serre orticole
113	Strutture residenziali isolate
321	Aree a pascolo naturale
333	Aree con vegetazione rada
2232	Prato incolto ad inerbimento spontaneo
211	Seminativi in aree non irrigue
212	Seminativi in aree irrigue
333	Aree a vegetazione rada
321	Aree a pascolo naturale e praterie
322	Brughiere e cespuglieti
221	Vigne
322	Arbusteti
223	Oliveti
222	Frutteti
421	Paludi, canneti, giungheti ed altre zone umide
323	Vegetazione scherofilla, Macchia bassa e garighe
142	Aree verdi urbane
224	Arboricoltura da legno
324	aree arbustive in evoluzione
244	Aree agroforestali
243	Arre a colture agrarie con spazi naturali importanti
312	Boschi di conifere
311	Boschi di latifoglie
313	Boschi misti di conifere e latifoglie

EdP secondo i Codici Corine Land Cover.

Più in particolare, il Modello Bionomico HU/BTC, si presenta come un metodo diagnostico utile per valutare e confrontare dinamicamente, nel tempo e nello spazio, lo stato ecologico dell'UdP (più o meno antropizzata) con uno stato bioecologico, di ottimale relativo (o cd normale) e per avere, di conseguenza, un quadro clinico del territorio in analisi. I segmenti verticali dividono i tipi di paesaggio (da sinistra) per Classi (I÷V): Forestale naturale resistente (CL. V - RNT/BTC_m = 5,2), agro forestale seminaturale resiliente (CL. IV - RSL/BTC_m = 3,2), forestale-agricolo protettivo (CL. III - PRT/BTC = 1,8), agricolo-rurale produttivo (CL. II - PRD/BTC = 0,8), infine CL. I suburbano (o sussidiario SBD) ed urbano residenziale denso (RSD), con BTC_m = 0,2, CL. 0 - HGL/BTC_m = 0,1 [BTC_m = valore medio espresso in (Mcal/m²)/anno].

CLASSE	Elemento di Paesaggio	HU (%)	BTC _m [Mcal/m ²]/anno
0	HGL: Improduttivo nat.(acque, ghiacciai, rocce, sabbie)	5	0 ÷ 0,2
I	RSD/SBS: Urbanizzato (Città, strade ↑ industrie. stazioni ferroviarie, aeroporti, aree intermodali ↓)	95 ÷ 100	0,2 ÷ 0,4
II	PRD: Produttivo (seminativi aridi ed umidi, siepi ↑, piantagioni legnose, orti, vigneti, uliveti, frutteti, pioppeti, colture foraggere, strade campestri, piccole cascate ↓)	90 ÷ 95	0,4 ÷ 1,2
III	PRT: Protettivo (siepi, filari alberati, boschetti residuali ↑, parchi urbani, giardini, aree di esondazione ↓)	85 ÷ 90	1,2 ÷ 2,4
IV	RSL: Resiliente (prati, pascoli, arbusteti ↑ brughiere, paludi, lande arbustate ↓)	10 ÷ 85	2,4 ÷ 4,0
V	RNT: Resistente (foreste, boschi decidui, di conifere e cedui)	15	4,0 ÷ 6,4

Sintesi degli intervalli di valori HU-BTC per EdP regionali italiane



Il modello diagnostico HU/BTC, capace di misurare lo stato bionomico di una unità di paesaggio (Landscape Unit o LU). Le linee tratteggiate separano i principali livelli di funzionalità bionomica (BF). La curva verde rappresenta lo stato di normalità della funzione $BTC = f(HU)$.

La linea verde, della curva normale, riportata in figura c.s., rappresenta la condizione di normalità di $BTC = f(HU)$ ed è descritta dall'equazione polinomiale:

$$BTC = 0,0007 \cdot x^2 - 0,1518 \cdot x + 8,85 \quad [(Mcal/m^2)/anno]$$

Il fascio di curve tratteggiate indicano quattro intervalli di funzionalità biometrica $BF = BTC_{RILEVANTE} / BTC_{NORMALE}$, che sono così sintetizzabili: il primo ($BF > 0,85$) indica il massimo grado di tolleranza, rispetto la normalità, il secondo ($BF = 0,85-0,65$) rappresenta un primo grado di alterazione, il terzo ($BF = 0,65 \div 0,45$) riguarda un maggiore livello di disfunzione, il quarto ($BF < 0,45$) indica un completo degrado. Le barre verticali distinguono i maggiori tipi di paesaggio nelle zone temperate in rapporto alla presenza di HU: dal paesaggio forestale-naturale, fino all'urbanizzato denso.

9. Indice Diagnostico (DI)

Questo secondo metodo diagnostico può arrivare ad un approfondimento maggiore del precedente, perché basato sull'uso di un maggior numero di parametri eco-biometrici (V. Ingegnoli, 2019 - Infrastrutture ecologiche e diagnosi dell'ambiente – Ed. Dip. Scienze e Politiche Ambientali, Università Statale di Milano – MI). Ne consegue, nel caso di una patologia conclamata della LU in esame, che sovente si arriva ad un lieve peggioramento dello stato di salute ambientale di una unità di paesaggio (LU) rispetto al precedente metodo: questo peggioramento si aggira intorno al 10 % ÷ 15 %. Si deve osservare che in questo metodo è necessario stabilire con precisione il tipo di paesaggio della LU, per il fatto che il calcolo della distanza fra i valori dei parametri rilevati e i rispettivi intervalli di normalità dipende dalla tipologia del paesaggio in questione. Infatti gli intervalli di normalità sono quantificabili con correttezza solo per ciascuna tipologia. Per questo si può ricorrere ad un apposito indicatore, denominato Indice Diagnostico. Dopo aver quantificato la distanza ('GAP') dalla curva normale, di ogni variabile (Es. 5 variabili: 10 %; 5 %; 15 %; 20 %; 35 %), si accoppia un punteggio (cd. score), variabile da 0 a 2 a seconda della percentuale dello scarto trovato:

$$[0 \div 10] \% = 2; [10 \div 30] \% = 1; [30 \div 60] \% = 0,5; [> 60] \% = 0$$

La somma degli N scarti, uno per ogni variabile (Es.: 1 ÷ 5), rispetto al totale ottimale (il punteggio massimo ottimale è $5 \cdot 2 = 10$) dà il valore dell'indice diagnostico (DI). Se, per esempio tale somma risulta pari al valore 0,65 $[(2 + 2 + 1 + 1 + 0,5)/10]$, questo denuncia un lieve scompensamento biologico, con necessità di compensazione, mediante adozione di idonea terapia preventiva, dato che la tolleranza bionormale non deve essere minore di 0,85.

Classi	Indice diagnostico	Stato di salute del sistema	Note fisio-patologiche	Livelli terapeutici necessari
I	0,85-1,00	Entro la norma	Plateau omeostatico, disturbi incorporabili	Può bastare la prevenzione
II	0,65-0,85	Scompensamento più o meno palese	Necessità di compensazione	Salute instabile, necessità di qualche terapia
III	0,40-0,65	Alterazione più o meno grave	Danni strutturali e funzionali	Sindrome palese, terapia e intervento
IV	0,10-0,40	Trasformazioni degenerative	Degrado non recuperabile	Gravi disfunzioni, difficoltà di intervento
V	< 0,10	Fase di estinzione	Degrado totale e morte del sistema	Intervento inutile

Esempio di applicazione di caratterizzazione del territorio. Quello preso in esame è un UdP della frazione del Comune di Padova. Esso è poco vasto (6,712 Km²) e abitato da circa 39602 persone. Esso si suddivide in 5 sub unità: 0) HGL idrogeologico (improduttivo); I) RSD+SBS Residenziale e Sussidiario; II) PRD Produttivo; III) PRT Protettivo; IV) RSL Resiliente (assente) e V) RSN Resistente. Si riassumono, in Tabella, i parametri dell'Unità di Paesaggio principale della frazione comunale.

CLASSI	EdP	S' (ha)	S (%)	HU' (%)	HU	BTC _m ' [(Mcal/m ² /anno)]	BTC _m	BTC _{NORMALE}	HS* (m ² /ab)	ΔBTC _{GAP} (%)	Ln(S)	(-) Σ Ln(S)	N° Classi	dσ	(HU/LM) _{NORMALE}
0	HGL	13	1,94	5	0,10	0,10	0,002				-3,94	0,08	1		
I	RSD+SBS	370	55,13	100	55,13	0,30	0,165				-0,60	0,33	1		
II	PRD	99,2	14,78	92,5	13,67	0,80	0,118				-1,91	0,28	1		
III	PRT	176	26,22	85	22,29	1,80	0,472				-1,34	0,35	1		
IV	RSL	0	0,00	10	0,00	3,20	0,000				0,00	0,00	0		
V	RSN	13	1,94	15	0,29	5,20	0,101				-3,94	0,08	1		36,76
ABITANTI =	39602	671,2	100		91,47	1,90	0,858	0,822	1480	4,28		1,11	5	0,90	23,34
HS =	155	Habitat Standad	σ =	0,1048	Capacità portante	Hsf =	1,11	Eterogeneità	Dsf =	2,72	Dominanza	τ =	6,38	Diversità ↑	Valore Corretto

Se si inserisce il valore globale di HU (%), trovato di **91,47 %**, per l'UdP in analisi, nell'equazione matematica che descrive la curva funzionale di **bionormalità HU/BTC**, si trova il valore di BTC che si dovrebbe manifestare nell'Ecotopo analizzato, è di:

$$BTC_{NORMALE} = (0,0007 \cdot 91,47^2) - (0,1518 \cdot 91,47) + 8,85 = 0,822 \text{ [(Mcal/m}^2\text{)/anno]}$$

Dato che, dai calcoli eseguiti, il valore medio di BTC_m risultante è di **0,858** [(Mcal/m²)/anno], mentre il valore di BTC_{NORMALE}, per la riscontrata percentuale di HU, dell'Ecotopo in questione, dovrebbe essere **0,822** [(Mcal/m²)/anno], significa che l'UdP analizzata raggiunge una BTC un po' più alta del normale ($\Delta_{GAP} = + 4,28 \% \Rightarrow SCORE = 2$) e, quindi, non si riscontrano né sensibili alterazioni né palesi disfunzioni ecologiche, perché la BTC è di poco superiore al livello di normalità (anche considerando un margine massimo d'errore, della normale, di $\pm 10 \%$). L'indice di metastabilità generale del paesaggio, indica una variabilità nell'**Habitat urbano** ($0,4 \div 0,9$):

$$LM_g = \tau \cdot BTC = 6,38 \cdot 0,858 = 5,47 \text{ [bit} \cdot \text{(Mcal/m}^2\text{)/anno]}.$$

Mentre la capacità ecologica complessiva dell'Habitat Umano vale:

$$HuCE = \sigma \cdot (BTC/HU) = 0,1048 \cdot (0,858/0,9147) \cong 0,10$$

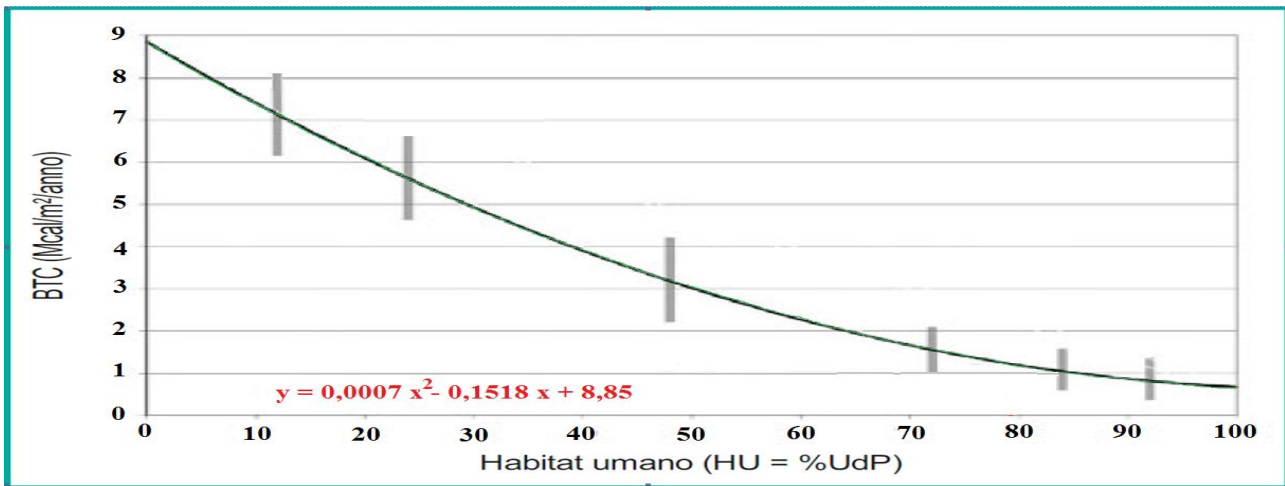
che rimarca i caratteri di una tipica UdP **urbana densa** ($0,1 \div 0,6$). Per $\sigma = 0,105 < 1,2 \Rightarrow HU/LM_g = 91,47/5,47 = 16,72_G < 23,34_N$ tipico di **paesaggio eterotrofo** (**urbano da rado a denso**), con un gap, rispetto alla curva normale del **-28,36 %** $\Rightarrow SCORE = 1$.

Parametri ecologici	URB.RSD	SUB. T. SBS	SUB. R. SBS	AGR. PRD	AGR. PRT	AGR-FOR	FOR-NAT
HU, habitat umano (%)	85-95	80-92	70-86	60-82	42-68	22-48	0-12
HS/HS*, capacità portante	0,1-0,5	0,4-1,0	0,8-3,0	2,5-9,0	3,0-12,0	3,5-15	4,5-21
BTC dell'UdP (Mcal/m ² /anno)	0,40-0,90	0,60-1,20	0,80-1,60	1,00-2,00	1,70-3,50	3,00-5,00	6,0-8,5
LM, landscape metastability	2,0-5,0	3,5-7,5	5,0-11,5	7,0-15,0	12,0-25	20,0-32,0	35,6-36,6
HuCE (HS/HS* × BTC/HU)	0,1-0,6	0,4-2,3	1,5-9,0	4,2-25	9,0-55	22-160	250-1750

Indice Diagnostico (**DI**): considerando soltanto i due parametri (**N = 2**), calcolati rigorosamente sullo stato bionomico dell'UdP (Biopotenzialità Territoriale bionomica del Paesaggio **BTC/HU** e Metastabilità generale del Paesaggio **HU/LM_g**):

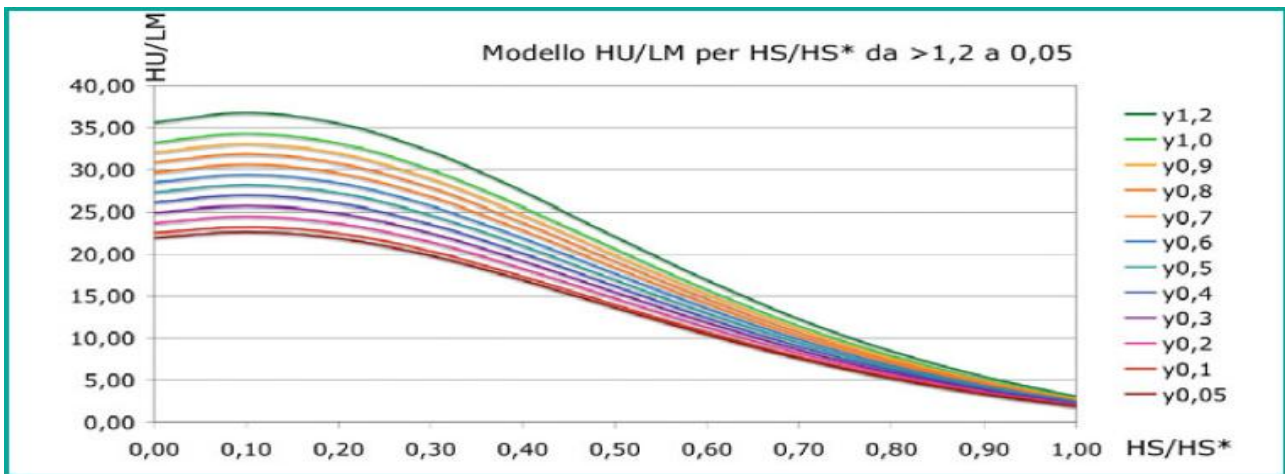
$$DI = (\Sigma SCORES)/(2 \cdot N) = (2 + 1)/(2 \cdot 2) = 0,75 < 0,85$$

Il valore del DI, indica che non basta operare secondo una semplice prevenzione, ma occorre intervenire con una piccola compensazione.



10. Analisi della meta stabilità (generale e complessa) e della capacità complessiva dell'HU

Moltiplicando l'indice τ (bit) di diversità paesistica (in relazione alle Classi Standard), per la BTC media dell'UdP in esame, si otterrà un nuovo indicatore che si può nominare di "metastabilità generale" del paesaggio (*General Landscape Metastability*), detto: $LM_g = \tau \cdot BTC$. A questo punto si è in grado di costruire un modello interessante, correlando l'habitat umano HU ed LM_g . Tale modello è basato sulle trasformazioni dei paesaggi a partire dal tipo forestale naturale e tiene conto anche della capacità portante $\sigma = HS/HS^*$ in modo da valere, anche, per i paesaggi eterotrofi.



Si noti, in figura, che le curve $y_{1,2}$ e $y_{1,0}$ indicano paesaggi autotrofi (rurale produttivo PRD), le curve $y_{0,9} \div y_{0,7}$ paesaggi in parte eterotrofi (suburbano rurale), le curve $y_{0,6} \div y_{0,4}$ paesaggi in prevalenza eterotrofi (suburbano tecnologico), le curve $y_{0,3} \div y_{0,05}$ paesaggi eterotrofi (urbano rado e denso). L'equazione del modello normale HU/LM (y) per $HS/HS^* (x) \geq 1,20$ risulta:

$$y = \exp [-(x - 0,1)^2 \cdot (1 + 2,2 \cdot \cos x)] \cdot 36,8 - (3,8 \cdot x \cdot \sin x) \text{ con } \exp = 2,718282$$

Tale equazione normale deve essere variata ($y \Rightarrow y'$), per $HS/HS^* < 1,2$, in modo da poter tracciare le curve che mostrano il comportamento dei paesi eterotrofi:

$$y' = y \cdot [0,6 + (HS/HS^*)/3]$$

Sovente può capitare di avere difficoltà nella attribuzione giusta del tipo di paesaggio in esame, argomento di primaria importanza, visto che i parametri ecologici sono da valutare in rapporto agli intervalli di normalità propri di un certo tipo di paesaggio. Utile a questo proposito può essere un indicatore denominato "Capacità ecologica complessiva dell'habitat umano" (o HuCE) che, per ciascuna UdP o sua porzione, mette in rapporto all'habitat umano la capacità biologica della vegetazione (BTC) e la capacità portante ($HS/HS^* = \sigma$), da cui risulta:

$$HuCE = (HS/HS^*) \cdot (BTC/HU) = \sigma \cdot (BTC/HU)$$

Da una serie di prove sperimentali sulle realtà studiate (diverse decine di UdP), si sono potute stabilire delle correlazioni fra i tipi principali di paesaggio e gli intervalli di valore del HuCE, che riporteremo nella Tabella. Come si nota, in essa, gli intervalli di normalità dell'indice HuCE, per Elementi di Paesaggio (EdP) non sono lineari, ma si allargano di molto con la naturalità del tipo di paesaggio: si va dal **paesaggio urbano residente (RSD)**, con $HuCE = 0,1 \div 0,6$, al **paesaggio forestale naturale resistente (RSN)**, con $HuCE = 250 \div 1800$.

HuCE	MIN	MAX
Urbano (RSD)	0,1	0,6
Suburbano tecnologico (SBS)	0,4	2,3
Suburbano periferico rurale (SBS)	1,5	9
Agricolo produttivo (PRD)	4,2	25
Agricolo Protettivo (PRT)	9	55
Agricolo forestale resiliente (RSL)	22	160
Forestale seminaturale (RSN)	62	500
Forestale naturale (RSN)	250	1800

L'influenza positiva dei caratteri ecologici di un elemento si deve misurare localmente, nell'intorno dell'elemento stesso, perché diversi parametri non possono dar luogo a un flusso di energia o di materiali. La distanza di influenza da un elemento di buona naturalità è fondamentale e viene chiamata Lb (distanza di bilancio di BTC) e, matematicamente, è pari a:

$$Lb = [BTC(+) \cdot (Wc/2)] / BTC(-)$$

dove Wc è la larghezza del corridoio ovvero della sezione della macchia, e BTC (+) indica il surplus di BTC mentre, BTC (-), indica il deficit di BTC, rispetto al $BTC_{NORMALE}$. La distanza di influenza microclimatica è pari a 6 ÷ 7 volte l'altezza media del corridoio o della macchia, che vanno quindi misurate sul campo, e sono anche funzione della porosità del corridoio o della densità della macchia:

$$Lm = 6,5 \cdot H$$

Se si verifica la presenza di elementi di disturbo che attraversino la matrice in prossimità del corridoio o della macchia (strade campestri, linee elettriche, costruzioni, ecc.), contando il numero d, di tali disturbi si può stimare una riduzione di influenza a patto che essi incidano su almeno metà dell'elemento stesso, cioè non siano solo puntuali. Si può così ottenere una misura (m) del raggio ecologico di influenza (REI):

$$REI = 0,5 \cdot (Lb + Lm) \cdot 1,5 \cdot d/2 \text{ (m)}$$

Risulta indispensabile, quindi, indirizzarsi verso nuovi approcci. La bionomia del paesaggio è in grado di proporre una metodologia per lo studio della Valutazione Ambientale Strategica (VAS), le cui fasi principali si riassumono, brevemente, nel seguente modo (mod. A. G. Graziani, 2012 – Guida alla stima della VAS, Maggioli Editore, RN):

1. inquadramento e delimitazione delle unità di paesaggio (UdP);
2. rilevamento delle componenti territoriali attuali;
3. anamnesi e stima delle componenti nel passato;
4. operazioni di analisi dei parametri ecologici principali;
5. studio della vegetazione ed elaborazione dei risultati;
6. elaborazione dei parametri valutativi necessari;
7. diagnosi dello stato ecologico attuale;
8. indicazioni terapeutiche di intervento;
9. verifica e controllo della pianificazione proposta;
10. valutazione ex post ed eventuali correzioni;
11. diagnosi di progetto e controllo strategico.