

# Fondamenti di restauro ecologico della SER

Una pubblicazione del Gruppo di lavoro Scienza e Politica<sup>1</sup>  
2002 (Prima Edizione)<sup>2</sup>

*Versione italiana di Roberto Rossi, Novella Ardinghi, Mario Cenni e Marco Ugolini<sup>3</sup>*

1. Inquadramento generale
2. Definizione di ‘restauro ecologico’
3. Caratteristiche degli ecosistemi restaurati
4. Significato dei termini impiegati
5. Ecosistema di riferimento
6. Specie esotiche
7. Monitoraggio e valutazione
8. Pianificazione del restauro
9. Relazioni tra pratica ed ecologia del restauro
10. Relazioni del restauro con altre attività
11. Integrazione del restauro ecologico nell’ambito di programmi più ampi

## 1. Inquadramento generale

Il restauro ecologico è un’attività che intenzionalmente avvia o accelera il recupero di un ecosistema rispetto alle sue condizioni di salute, integrità e sostenibilità. L’ecosistema che richiede un restauro, spesso, è stato degradato, danneggiato, trasformato o completamente distrutto a causa degli effetti diretti o indiretti di attività umane. Talvolta, gli impatti sugli ecosistemi sono causati o sono aggravati da agenti naturali, come gli incendi, le inondazioni, le tempeste, o le eruzioni

---

<sup>1</sup> Il Gruppo di lavoro Scienza e Politica della SER, Maggio 2002, è composto da James Aronson (Francia), Andy Clewell (USA), Wally Covington (USA), Jim Harris (UK), Eric Higgs (Canada), Richard J. Hobbs (Australia), Dennis Martinez (popoli indigeni), Marc A. Matsil (USA), Carolina Murcia (Colombia), John Rieger (USA) e Keith Winterhalder (Canada).

Gli autori principali di questa pubblicazione sono André Clewell (Quincy, FL USA), James Aronson (Montpellier, Francia) e Keith Winterhalder (Sudbury, ON Canada).

Clewell ha proposto inizialmente il testo e ne ha steso la prima copia. Aronson e Winterhalder, in collaborazione con Clewell, lo hanno modificato nella forma attuale. Winterhalder, in qualità di presidente del Gruppo di lavoro Scienza e Politica della SER, ha coordinato l’iniziativa, invitando altri membri del gruppo di lavoro a partecipare. Eric Higgs (Victoria, BC Canada) ha realizzato la sezione “Inquadramento generale”.

Dennis Martinez (Douglas City, CA USA) ha contribuito con una ‘carta di posizione’ che è diventata poi la base per il testo riguardante gli ecosistemi culturali. Altri membri del gruppo di lavoro hanno fornito critiche e suggerimenti durante il lavoro, come Richard Hobbs (Murdoch, WA Australia), James Harris (Londra, UK), Carolina Murcia (Cali, Colombia) e John Rieger (San Diego, CA USA). Il GLSP ringrazia Eric Higgs, Presidente del Consiglio d’amministrazione della SER, per il suo incoraggiamento e per aver portato il Manuale al Consiglio della SER per la sua approvazione come documento ufficiale della SER il 6 aprile 2002, con voto unanime.

<sup>2</sup> Ultimo aggiornamento 12 novembre 2002.

Questo documento sostituisce quello “SER’s Project Policies” (= le politiche di progetto della SER), inizialmente pubblicato in *Restoration Ecology* (= ecologia del restauro) 2(2):132-133, 1994, successivamente pubblicate sul sito web della SER. Esso sostituisce anche la politica sulla “valutazione dei progetti” *Project Evaluation*), anch’essa pubblicata sul sito della SER. Il testo “SER Environmental Policies” (= le politiche ambientali della SER), pubblicate in *Restoration Ecology* (3):206-207, 1993, rimane in vigore.

<sup>3</sup> Roberto Rossi (Regione Toscana, Dipartimento delle Politiche territoriali e ambientali, UOC Tutela della diversità ecologica), Novella Ardinghi (Servizio Volontario di Vigilanza Ambientale, Nucleo provinciale di Siena), Mario Cenni (Agenzia Regionale di Protezione Ambientale Toscana, ARPAT, Area Mare) e Marco Ugolini (Environmental Design Studio, Firenze). Autorizzazione della SER International.

vulcaniche, fino al punto in cui essi non possono tornare allo stato precedente il disturbo o alla propria traiettoria storica di sviluppo<sup>4</sup> (*historic trajectory*).

Il restauro tenta di riportare un ecosistema alla propria 'traiettoria storica' di sviluppo. La conoscenza delle condizioni storiche è quindi il punto di partenza necessario per la progettazione del restauro. L'ecosistema restaurato, finché i vincoli e le circostanze in cui si trova un ecosistema possono spingerlo a svilupparsi secondo una traiettoria diversa, non può recuperare le proprie condizioni precedenti.

Può essere difficile o anche impossibile determinare con precisione quale sia la traiettoria storica di un ecosistema che ha subito impatti severi. È però possibile riconoscere la direzione generale e i limiti di quella traiettoria, sulla base delle conoscenze su struttura, composizione e funzionamento precedenti dell'ecosistema, sulla base di studi di ecosistemi analoghi ancora intatti e sulla base delle informazioni sulle condizioni ambientali della zona e dell'analisi di altre informazioni ecologiche, culturali e storiche. Grazie a quest'insieme di informazioni, quindi, può essere delineata la traiettoria storica o le 'condizioni di riferimento' (*reference conditions*), partendo dai dati ecologici di base e con l'impiego di modelli previsionali. Essa può essere imitata nel processo di restauro, aiutando così a dirigere l'ecosistema verso migliori condizioni di salute e integrità.

Il restauro impone un impegno di territorio e di risorse per un periodo di lunghezza indefinita; è necessario quindi, prima di arrivare a proporre il restauro di un ecosistema, ponderarne con attenzione tutte le implicazioni. È più facile che siano rispettate e messe in atto decisioni prese collettivamente, piuttosto che decisioni unilaterali. Per l'avvio di un progetto di restauro, perciò, è interesse di tutti gli interessati raggiungere una decisione partecipata. Una volta presa la decisione, il progetto di restauro richiede una programmazione attenta e sistematica, oltre che un attento monitoraggio dei risultati, per verificare i progressi verso il recupero dell'ecosistema. Per restaurare un paesaggio complesso, formato da più ecosistemi, è ancora maggiore la necessità di pianificare il processo.

Nei progetti di restauro i tipi d'intervento variano molto, dipendendo dall'estensione e dalla durata dei disturbi subiti, dalla situazione culturale che ha determinato la conformazione del paesaggio e da vincoli e opportunità presenti. Nel caso più semplice, il restauro consiste nel rimuovere o modificare uno specifico disturbo, lasciando poi che siano gli stessi processi ecologici a determinare il recupero. Per esempio, l'eliminazione di una diga permette il ritorno al passato regime d'inondazioni. In situazioni più complesse, il restauro può arrivare a richiedere la reintroduzione intenzionale di specie originarie che sono andate perdute e l'eradicazione o il massimo controllo possibile delle specie esotiche invasive e dannose. La degradazione o la trasformazione di un ecosistema è spesso dovuta a più cause, protratte nel tempo, che hanno determinato la sostanziale perdita di suoi elementi storici. Talvolta la traiettoria di sviluppo di un ecosistema degradato è completamente bloccata, perché processi naturali ne causano un ritardo indefinito. In tutti i casi, comunque, il restauro ecologico mira ad avviare o facilitare la ripresa di quei processi che riconduranno l'ecosistema alla traiettoria voluta.

Raggiunta tale traiettoria, l'ecosistema in cui s'interviene può non richiedere più interventi esterni per raggiungere condizioni di salute e integrità, in tal caso si può ritenere completo il restauro. Spesso, però, l'ecosistema restaurato richiede ancora una gestione continua per contrastare l'invasione di specie opportuniste, gli impatti di varie attività umane, il cambiamento di clima e di altri eventi imprevedibili. Da questo punto di vista, un ecosistema restaurato è come uno intatto, richiedendo probabilmente entrambi una qualche forma di gestione. Sebbene il restauro di un ecosistema e la sua gestione formino un tutt'uno, impiegando spesso forme simili d'intervento, il restauro ecologico punta ad aiutare o avviare il recupero, mentre la gestione di un ecosistema è tesa a mantenere in buone condizioni l'ecosistema restaurato.

---

<sup>4</sup> N.d.T.: la traiettoria storica di sviluppo è il percorso costituito dai successivi stadi evolutivi di un ecosistema (o di un paesaggio).

Alcuni ecosistemi, specialmente nei paesi in via di sviluppo, sono ancora gestiti con pratiche colturali tradizionali e sostenibili. In questi ecosistemi culturali esiste uno scambio tra le attività colturali ed i processi ecologici, le azioni umane perciò rafforzano le condizioni di salute e la sostenibilità dell'ecosistema. Molti ecosistemi culturali hanno subito gli effetti della crescita demografica e di pressioni esterne di vario tipo e quindi hanno bisogno di essere restaurati. Il loro restauro normalmente prevede anche il recupero delle pratiche di gestione ecologica indigene, compreso il sostegno alla sopravvivenza culturale della popolazione indigena e della loro lingua, considerandole un archivio vivente delle conoscenze ecologiche tradizionali.

Il restauro ecologico stimola il coinvolgimento di lungo termine della popolazione locale, talvolta, dipendendone fortemente. La situazione delle culture tradizionali sta attualmente subendo un cambiamento senza precedenti a livello globale. Per adattarsi a questo cambiamento, il restauro ecologico può accettare e perfino consigliare nuove pratiche colturali sostenibili e adatte culturalmente che tengano conto delle condizioni e dei vincoli attuali. Riguardo a ciò, l'approccio nordamericano, tutto centrato nel restauro di paesaggi naturali originari, ha ben poco senso in posti come l'Europa, in cui i paesaggi culturali sono la norma, o in ampie zone dell'Africa, dell'Asia e dell'America Latina, dove il restauro ecologico è improponibile, se in esso non è prevista chiaramente una base ecologica per la sopravvivenza umana.

La cosa che rende il restauro ecologico particolarmente stimolante è che le pratiche colturali ed i processi ecologici possono rafforzarsi reciprocamente. Di conseguenza, non sorprende che l'interesse nel restauro ecologico stia crescendo rapidamente in tutto il mondo e che, nella maggioranza dei casi, le convinzioni culturali e la pratica siano combinate in modo tale da contribuire a determinare e dare forma a ciò che può essere definito 'restauro'.

La definizione presentata di seguito, approvata ufficialmente dalla Società per il Restauro Ecologico (SER), è sufficientemente generica da consentire un'ampia varietà di approcci al restauro, ma attribuisce un grande rilievo al concetto, denso di significato, di 'ristabilimento'<sup>5</sup> (*recovery*).

## **2. Definizione di 'restauro ecologico'**

*Il restauro ecologico è il processo di assistenza al ristabilimento di un ecosistema che è stato degradato, danneggiato o distrutto.*

## **3. Caratteristiche degli ecosistemi restaurati**

In questa sezione è trattata la questione di cosa s'intenda con il termine "ristabilimento" nel restauro ecologico (*ecological restoration*). Un ecosistema si è ristabilito - ed è quindi restaurato - quando contiene sufficienti risorse biologiche e abiotiche per procedere nel proprio sviluppo senza un'ulteriore assistenza. L'ecosistema è capace di sostenersi dal punto di vista strutturale e funzionale, esso mostra una capacità di resilienza rispetto a una normale gamma di pressioni e di disturbi ambientali e in esso c'è un'interazione con gli ecosistemi contigui, in termini di flussi biologici e abiotici e di scambi culturali.

Per determinare se un restauro è compiuto, si devono riscontrare le seguenti nove caratteristiche, che non devono necessariamente essere soddisfatte tutte, essendo sufficiente che dal loro insieme risulti che l'ecosistema abbia imboccato una traiettoria nella direzione degli obiettivi o riferimenti voluti. Alcune caratteristiche sono facilmente misurabili, altre devono essere stimate indirettamente, come in genere le funzioni dell'ecosistema, che non possono essere verificate senza

---

<sup>5</sup> N.d.T.: L'uso del sinonimo "recupero" causerebbe fraintendimenti: il "recupero ambientale" così come normalmente inteso, è più attinente al concetto di 'riutilizzazione', piuttosto che a quello di "guarigione", cfr. sezione 10.

un impegno di ricerca che, nella maggior parte dei progetti di restauro, è al di fuori delle capacità e delle possibilità finanziarie.

1. L'ecosistema restaurato contiene una combinazione caratteristica delle specie presenti nell'ecosistema di riferimento e ciò fornisce un' adeguata struttura della cenosi.
2. L'ecosistema restaurato è formato dalla maggior quantità praticamente possibile di specie indigene. Negli ecosistemi culturali restaurati, può essere consentita la presenza di specie esotiche domestiche e di specie ruderali e segetali non invasive, che presumibilmente si sono coevolute con esse. Sono definite ruderali le piante che colonizzano i siti disturbati, mentre sono segetali quelle che si sviluppano tipicamente frammiste alle specie colturali.
3. Sono presenti tutte le specie dei gruppi funzionali necessari per la prosecuzione dello sviluppo e/o per la stabilità dell'ecosistema restaurato oppure, se esse non sono presenti, ne è possibile una ricolonizzazione naturale da parte dei gruppi mancanti.
4. L'ambiente fisico dell'ecosistema restaurato è capace di sostenere la riproduzione di popolazioni delle specie necessarie alla sua stabilità durevole o al suo sviluppo lungo la traiettoria voluta.
5. L'ecosistema restaurato mostra segni di funzionamento normali per la fase di sviluppo ecologico in cui si trova.
6. L'ecosistema restaurato è integrato adeguatamente in una matrice ecologica o in un paesaggio più esteso, con cui interagisce attraverso flussi e scambi biologici e abiotici.
7. Le possibili minacce alla salute e all'integrità dell'ecosistema restaurato provenienti dal paesaggio circostante sono state eliminate o ridotte al massimo.
8. L'ecosistema restaurato è sufficientemente resiliente per superare i normali casi periodici e localizzati di pressione ambientale, che peraltro sono necessari per mantenerne l'integrità funzionale.
9. L'ecosistema restaurato si automantiene, al pari del corrispondente ecosistema di riferimento, ed è capace di durare indefinitamente nelle condizioni ambientali in cui si trova. Tuttavia, alcuni elementi della sua biodiversità, della sua struttura e del suo funzionamento possono variare, secondo il normale sviluppo ecologico, potendo i relativi parametri oscillare in conseguenza di pressioni periodiche normali e di eventi di disturbo occasionali di maggior impatto. Come in tutti gli ecosistemi intatti, la composizione specifica e le altre caratteristiche di un ecosistema restaurato sono libere di evolvere col mutare delle condizioni ambientali.

Se sono individuate come obiettivo, anche altre caratteristiche di un progetto di restauro possono diventare importanti e devono essere prese in considerazione. Per esempio, uno degli obiettivi del restauro può essere quello di rendere disponibili per lo sviluppo sociale, in modo sostenibile, determinati beni e servizi naturali. A tal fine, i beni e servizi corrispondono agli interessi maturati dal capitale naturale costituito dall'ecosistema restaurato. Un altro obiettivo può essere quello di fornire l' habitat necessario per specie rare o per dare rifugio a una *pool* genetica diversificata per determinate specie. Tra gli altri obiettivi possibili, ci possono essere quello di fornire elementi di fruizione estetica o quello di rendere possibili attività di rilevanza sociale, come il rafforzamento del senso di appartenenza a una comunità, che si ottiene facendo partecipare a un progetto di restauro alcuni componenti della comunità locale.

#### **4. Significato dei termini impiegati**

In questo documento sono stati usati vari termini tecnici. Alcuni di essi possono non essere familiari a lettori che non sono ecologi, mentre altri termini assumono un significato diverso secondo il contesto in cui sono usati. Per diminuire la possibilità di fraintendimenti, per i termini chiave usati, è fornito il significato che in questo documento si attribuisce loro.

Un **ecosistema** consiste nel **biota** (l'insieme degli esseri viventi, cioè le piante, gli animali e i microrganismi) presenti in una data zona, nell'**ambiente** che li contiene e nelle loro **interazioni**. Le popolazioni delle specie che costituiscono il biota sono chiamate, nel loro insieme, **comunità biologica** (o **biocenosi**). Questa comunità spesso è suddivisa in base al gruppo **tassonomico** (per esempio, la comunità degli insetti) o alla **forma biologica** (per esempio, la comunità degli alberi). Possono anche essere individuati raggruppamenti di organismi in base al loro ruolo funzionale nell'ecosistema (per esempio, i produttori primari, gli erbivori, i carnivori, i decompositori, i fissatori dell'azoto, gli impollinatori), questi sono detti **gruppi funzionali**. L'**ambiente fisico** o **abiotico** di un ecosistema comprende il suolo o il substrato, l'atmosfera o l'acqua, l'idrologia, la meteorologia e il clima, il rilievo e l'esposizione dei versanti, il regime dei nutrienti e la salinità. L'**habitat** si riferisce alla dimora di un organismo o di una comunità, che fornisce le condizioni necessarie per i processi vitali.

Un ecosistema può essere individuato in unità territoriali di varia scala, da quella di una stazione microscopica, contenente solo alcuni individui, a un'area che mostra un qualche grado di omogeneità strutturale e tassonomica, come un "ecosistema di zona umida", a piccola scala e basato su una comunità, o un "ecosistema di foresta pluviale tropicale", di più grande scala e basato su un bioma. Un restauro ecologico può essere effettuato a varie scale, deve però essere sempre inquadrato chiaramente alla scala di paesaggio, per assicurare adeguati flussi, interazioni e scambi con gli ecosistemi attigui. Si definisce **paesaggio** un mosaico di due o più ecosistemi che si scambiano organismi, energia, acqua e sostanze nutritive. In molti casi, piuttosto che concentrarsi sul singolo ecosistema, è corretto e più efficace effettuare un restauro ecologico indirizzandolo alla ricostruzione della continuità degli ecosistemi e dei paesaggi frammentati.

Si chiamano **paesaggio naturale** o **ecosistema naturale** quelli che si sono sviluppati per processi naturali e che si organizzano e si mantengono da soli. Si chiamano **paesaggio culturale** o **ecosistema culturale** quelli che si sono sviluppati per l'effetto combinato di processi naturali e delle attività umane. Molte delle praterie e delle savane si mantengono in gran parte grazie ad attività umane, come gli incendi periodici per la caccia, la raccolta di prodotti o l'allevamento di bestiame. In Europa, molti dei prati ricchi di specie sono ecosistemi culturali, determinati dal taglio delle foreste nell'età del bronzo, e si sono conservati grazie allo sfalcio e al pascolo stagionale del bestiame. Il recupero di un prato danneggiato si qualifica come restauro ecologico, anche se l'ecosistema prativo scelto come ecosistema di riferimento derivi dalle attività umane. Un altro esempio è dato dalla densa foresta di conifere che oggi occupa una vasta area della parte occidentale dell'America del nord. Nel diciannovesimo secolo, molta di questa foresta era aperta, come un parco, abbondantemente occupata da specie erbacee, a causa dei frequenti incendi e dell'utilizzazione di specie vegetali da parte della tribù indigene.

Questi boschi sembravano naturali e le loro condizioni erano sostenibili nell'ambito del regime di uso del suolo che attuavano gli indigeni. Il ritorno dalla situazione attuale a quest'ecosistema di bosco aperto, con forme d'utilizzazione simili a quelle originarie, è un restauro ecologico. Si dicono **pratiche culturali sostenibili** le forme tradizionali di uso del suolo, che mantengono la biodiversità e la produttività. In quest'ambito, il biota ha valore tanto per il suo contributo alla stabilità dell'ecosistema, quanto per i benefici a breve termine che può dare come merce. È probabile che tutti gli ecosistemi naturali siano influenzati dall'uomo, almeno in piccola parte e, nell'effettuare un restauro, è bene tenerlo presente.

I termini degradazione, danneggiamento, distruzione e trasformazione corrispondono tutti a una deviazione dallo stato normale o dello stato desiderato di un ecosistema intatto.

Il significato di questi termini si sovrappone e la distinzione non è sempre chiara. La **degradazione** si riferisce a cambiamenti sottili o gradualmente che riducono l'integrità e la salute ecologica. Il **danneggiamento** si riferisce a grossi ed evidenti cambiamenti in un ecosistema. Tanto la **distruzione** di un ecosistema, quanto la sua degradazione o il suo danneggiamento, rimuovono

tutta la vita macroscopica e, spesso, rovinano anche l'ambiente fisico. La **trasformazione** di un ecosistema è la sua conversione verso un tipo di ecosistema o di uso del suolo diverso.

Un **ecosistema di riferimento** serve sia da modello per la pianificazione di un progetto di restauro ecologico, sia per la sua successiva valutazione. Nei casi in cui sono oggetto di restauro due o più tipi di ecosistema, il riferimento può essere chiamato **paesaggio di riferimento** o, se se ne deve restaurare solo una sua parte, **unità di paesaggio di riferimento**. Questi ecosistemi, paesaggi o unità di paesaggio, possono essere indicati semplicemente come **riferimento**.

Normalmente il riferimento rappresenta un punto di sviluppo progredito lungo la voluta traiettoria del restauro. In altre parole, ci si aspetta che l'ecosistema restaurato ripeta le caratteristiche del riferimento e gli obiettivi e le strategie di un progetto sono studiati alla luce di quest'aspettativa. Il riferimento può consistere in uno o più siti definiti che contengono gli ecosistemi presi a modello, una descrizione scritta o entrambe le cose. Le informazioni sul riferimento raccolte riguardano sia le componenti biologiche sia quelle abiotiche. Per una più completa trattazione sull'ecosistema di riferimento si rimanda alla sezione 5.

Si dice **traiettoria ecologica** quella che descrive il percorso dello sviluppo di un ecosistema nel tempo. Nel restauro, la traiettoria inizia dall'ecosistema non restaurato e procede verso lo stato desiderato di ristabilimento; ciò si riflette negli obiettivi del progetto ed è espresso concretamente dall'ecosistema di riferimento. La traiettoria abbraccia tutte le caratteristiche ecologiche, biologiche e abiotiche di un ecosistema e, in teoria, essa può essere monitorata tramite misure successive del corredo coerente di parametri ecologici.

Una traiettoria non è definita in modo stringente e specifico, al contrario, essa raccoglie un'ampia, anche se limitata, gamma di possibili modi di manifestarsi nel tempo, che possono essere descritti dalla teoria matematica del caos o essere previsti con vari modelli ecologici. Non è possibile fare una descrizione completa di una traiettoria in modo empirico per due ragioni. In primo luogo, il numero delle caratteristiche dell'ecosistema da misurare sono di gran lunga più numerose di quelle che possono essere ragionevolmente misurate, inoltre, la descrizione della traiettoria nel tempo è necessariamente incompleta. In secondo luogo, i dati del monitoraggio sono adatti a tracciare la traiettoria di ciascun parametro isolato, mentre, la loro combinazione, per il disegno di un'unica traiettoria rappresentante l'intero ecosistema, richiede un'analisi multivariata estremamente complessa, di un tipo che non è stato ancora sviluppato. È questa una sfida cruciale per la futura ricerca.

La **biodiversità** si riferisce alla diversità tassonomica e genetica, alla varietà di forme biologiche e alla struttura delle biocenosi presenti nell'ecosistema, nonché ai ruoli ecologici da essi svolti. Il biota è organizzato in modo gerarchico dal livello del genoma fino ai singoli organismi, alle specie, alle popolazioni e alle comunità. Due aspetti connessi alla biodiversità sono la **composizione specifica** (*species composition*), cioè l'assetto tassonomico delle specie presenti e la **ricchezza di specie**, cioè il numero delle specie presenti. Nel restauro un ampio ristabilimento della composizione specifica è d'importanza estrema. Per il mantenimento di un ecosistema restaurato devono essere rappresentati tutti i gruppi funzionali di specie. La ridondanza di specie (*species redundancy*), cioè la presenza di più specie che svolgono una funzione simile nelle dinamiche dell'ecosistema, fornisce la certezza che esso si mantenga in buona salute anche se sottoposto a pressioni, disturbi o altri cambiamenti ambientali.

Affinché un ecosistema sia adattato bene alle condizioni locali e mostri capacità di resilienza, in risposta a condizioni ambientali stressanti o in corso di trasformazione, occorre che le popolazioni che contiene abbiano un'**idoneità genetica** (*genetic fitness*). Un ecosistema contiene popolazioni geneticamente idonee se esso, non solo è adattato al regime ambientale attuale, ma possiede anche una certa "ridondanza genetica", grazie alla quale il pool genetico ha una diversità di alleli che possono essere selezionati in seguito a un cambiamento ambientale. In circostanze normali, la reintroduzione di **ecotipi locali** è sufficiente per mantenere l'idoneità genetica. Tuttavia, in siti che

hanno sofferto un danneggiamento significativo e una conseguente alterazione del loro ambiente fisico, la strategia migliore può essere l'introduzione di uno **stock genetico diversificato**, permettendo così la ricombinazione e l'eventuale sviluppo di nuovi ecotipi più adattabili.

Per **struttura della comunità** s'intende la fisionomia o l'architettura della cenosi, riguardante la densità, la distribuzione spaziale, orizzontale e verticale, e la distribuzione delle popolazioni, nonché le dimensioni e le forme biologiche degli organismi che quelle comunità comprendono.

I **processi ecologici**, o **funzioni dell'ecosistema** sono caratteristiche dinamiche degli ecosistemi, che comprendono le interazioni che si verificano fra gli organismi e tra questi e il loro ambiente. I processi ecologici sono la base per l'automantenimento di un ecosistema.

Alcuni ecologi del restauro usano il termine “funzioni di ecosistema” solo per le caratteristiche dinamiche che ne interessano più direttamente il metabolismo, soprattutto la cattura e la trasformazione dell'energia, delle sostanze nutritive e dell'umidità. Ne sono esempio la fissazione del carbonio tramite la fotosintesi, le interazioni trofiche, la decomposizione e il ciclo dei nutrienti minerali. Definendo rigorosamente le funzioni dell'ecosistema in questo modo, si possono individuare come “processi dell'ecosistema” altre caratteristiche dinamiche, come la stabilizzazione del substrato, il controllo del microclima, la differenziazione degli habitat per specie specializzate, l'impollinazione e la dispersione dei semi. Il funzionamento a scala territoriale più grande, in genere, è inteso in termini più generali, come la ritenzione di lungo periodo delle sostanze nutritive e dell'umidità e la sostenibilità complessiva dell'ecosistema.

Le funzioni e i processi dell'ecosistema, insieme alla riproduzione e allo sviluppo degli organismi, rendono un ecosistema **autogeno**, cioè capace di rinnovarsi da solo. Obiettivo comune per il restauro di qualsiasi ecosistema naturale è il ristabilimento di processi autogeni, fino al punto in cui non è più necessaria l'assistenza dei restauratori. Infatti, il principale compito di un restauratore è proprio quello di avviare tali processi. I restauratori spesso ritengono che i processi autogeni siano avviati quando sono state ristabilite la composizione specifica e la struttura della comunità. Pur non essendo sempre vero, per il restauro di un ecosistema, questo è un accettabile punto di partenza.

Alcuni processi dinamici hanno un'origine esterna al sistema, come gli incendi, le inondazioni, i venti dannosi, le variazioni traumatiche della salinità dovute a maree e tempeste eccezionali, le gelate e la siccità. Questi processi esterni determinano uno stress al biota e talvolta sono chiamati **fattori di stress**. Il biota di qualsiasi ecosistema deve essere resistente o resiliente alle normali pressioni che si presentano periodicamente in un dato ambiente. Esse, infatti, sono necessarie per conservarne l'integrità, evitando la penetrazione di altre specie che non vi si sono adattate.

Per esempio, l'afflusso di acqua salata con la marea è essenziale per mantenere un ecosistema di palude salmastra e per impedire la sua trasformazione in un ecosistema d'acqua dolce. Negli ecosistemi culturali, sono intesi come fattori di stress le attività umane, come gli abbruciamenti o il pascolamento. I termini **disturbo** o **perturbazione** talvolta sono usati indifferentemente per indicare i fattori o gli effetti della pressione. Tuttavia, l'uso del termine “disturbo” qui è limitato agli impatti più severi o acuti dei normali eventi di pressione.

La **resistenza** è un termine che indica la capacità di un ecosistema di mantenere le proprie caratteristiche strutturali e funzionali a seguito di pressioni e disturbi. La **resilienza** è la capacità di un ecosistema di recuperare le proprie caratteristiche strutturali e funzionali dopo il loro danneggiamento a causa di pressioni o di disturbo. Si definisce **stabilità dell'ecosistema** la sua capacità di conservare la propria traiettoria nonostante le pressioni; essa denota più una condizione di equilibrio dinamico che quella di stasi. Un ecosistema raggiunge la stabilità, in parte, grazie alla sua capacità di resistenza e di resilienza.

I termini integrità e salute di ecosistema sono usati comunemente per descrivere lo stato in cui si vuole che sia un ecosistema restaurato. Anche se alcuni autori usano indifferentemente i due termini, essi hanno un significato diverso.

L'**integrità dell'ecosistema** è la condizione o lo stato di un ecosistema in cui è presente la biodiversità caratteristica del riferimento, come la composizione specifica e la struttura della comunità, e in cui esso è pienamente capace di mantenere il proprio funzionamento normale.

La **salute dell'ecosistema** è la condizione o lo stato di un ecosistema nel quale le caratteristiche dinamiche sono presenti e attive, entro un normale arco di variabilità, rispetto al proprio stadio di sviluppo ecologico. Un ecosistema restaurato è in buona salute se funziona normalmente rispetto al suo ecosistema di riferimento, oppure rispetto a un adeguato insieme di caratteristiche restaurate, come quelle elencate prima, nella sezione 3. Una condizione di ecosistema integro suggerisce il manifestarsi contemporaneo di una condizione di salute e di un ambiente abiotico adatto, ma ciò non è necessariamente sempre vero.

## 5. Ecosistema di riferimento

Un 'ecosistema di riferimento' o, semplicemente, un 'riferimento' serve da modello per la pianificazione del progetto di restauro e, successivamente, per la sua valutazione. La forma più semplice di un riferimento è costituita da un luogo attuale, dalla sua descrizione scritta, o da entrambe. Il riferimento semplice, però, rappresenta un solo stato o una sola manifestazione delle caratteristiche dell'ecosistema e quindi, potrebbe essere l'espressione di una delle tante possibili situazioni, nell'arco di variabilità di sviluppo storico di quell'ecosistema, mostrandone una combinazione particolare di eventi casuali.

Analogamente, un ecosistema sottoposto a restauro può svilupparsi in una qualunque delle possibili condizioni nell'ambito di una variabilità che può anche essere vasta. Qualsiasi condizione si manifesti, essa rappresenta un restauro accettabile, fin tanto che corrisponde a una qualunque delle possibili condizioni in cui si può sviluppare il riferimento. È per questo, che il riferimento semplice non esprime a sufficienza l'insieme delle possibili condizioni e l'arco di variabilità manifestato storicamente dall'ecosistema restaurato. Pertanto, è meglio basare un riferimento sulla combinazione di più siti e, se necessario, su altre fonti. Una 'descrizione composita' di questo tipo fornisce una base più realistica per la pianificazione del restauro.

Le fonti d'informazione che possono essere usate nella descrizione del riferimento comprendono:

- descrizioni ecologiche, elenchi di specie e carte del sito di progetto anteriori al danneggiamento;
- foto aeree storiche e recenti e fotografie a terra;
- relitti del sito da restaurare, che mostrano le condizioni fisiche e del biota precedenti al danneggiamento;
- descrizioni ecologiche ed elenchi di specie di ecosistemi intatti simili;
- esemplari conservati in erbari e in musei;
- resoconti storici e testimonianze orali di persone che conoscevano le condizioni del sito di progetto prima del danneggiamento;
- reperti paleoecologici quali pollini fossili, carbone di legna, ricostruzioni storiche dello sviluppo degli alberi tramite l'analisi dei loro anelli di accrescimento, fatte di roditori.

La validità di un riferimento aumenta con l'aumentare delle informazioni che esso contiene; d'altro canto, per tutti gli inventari c'è sempre il problema del tempo e delle risorse a disposizione. Come minimo, un inventario ecologico di base deve descrivere le caratteristiche principali dell'ambiente abiotico e importanti aspetti della biodiversità, come la composizione specifica e la struttura della comunità. Inoltre, esso deve individuare i normali eventi periodici di stress, che mantengono l'integrità dell'ecosistema. La descrizione del riferimento per gli ecosistemi culturali deve

individuare le pratiche colturali che sono cruciali per il loro restauro e, successivamente, per la loro gestione.

Un'efficace descrizione del riferimento, deve consentire il superamento di alcune difficoltà. In primo luogo, un sito di riferimento, di regola, deve presentare una biodiversità ben sviluppata, mentre un luogo in corso di restauro, normalmente, si trova in uno stadio ecologico anteriore. Quindi, per la pianificazione e la valutazione del progetto, è necessario estrapolare dal riferimento le condizioni di un suo stadio di sviluppo antecedente. La necessità di ricorrere a quest'interpolazione diminuisce quando lo stadio di sviluppo del sito di progetto è sufficientemente progredito, consentendo così un confronto diretto con il riferimento. In secondo luogo, quando l'obiettivo del restauro è un ecosistema naturale, quasi tutti i riferimenti disponibili avranno subito impatti umani negativi, che non devono essere riprodotti.

Di conseguenza, il riferimento può richiedere un'interpretazione per rimuovere queste fonti di artificio del modello. Per questi motivi, la preparazione della descrizione del riferimento richiede esperienza e un'acuta capacità di giudizio ecologico.

È molto importante mettere per iscritto gli obiettivi del progetto di restauro, per definirlo con il dettaglio necessario a descrivere il riferimento. Per progetti di restauro vasti, a scala di paesaggio, per i quali è necessario definire solo gli obiettivi generali, anche la descrizione del riferimento può essere di carattere generale. In questi casi, la fonte più importante d'informazione può essere rappresentata dalle foto aeree. Per un restauro a una scala più fine, può essere necessario una descrizione del riferimento molto più dettagliata, a esempio, raccogliendo dati di campagna, in piccole aree di saggio.

## **6. Specie esotiche**

È una specie esotica, vegetale o animale, una specie introdotta in un'area dove prima non c'era, a causa di attività umane relativamente recenti. Dato che il restauro ecologico degli ecosistemi naturali mira al recupero della massima autenticità storica ragionevolmente possibile, il contenimento o l'eradicazione delle specie esotiche dai siti d'intervento è molto desiderabile. Spesso, però, limiti finanziari e logistici inducono ad adottare un approccio realistico e pragmatico. Nei paesaggi culturali, le specie esotiche sono spesso una parte integrante dell'ecosistema, in particolare, sotto forma di colture e di bestiame d'allevamento, ma anche sotto forma di specie ruderali o segetali che, probabilmente, si sono coevolute con quelle domestiche. In un restauro culturale questo tipo di specie esotica può essere mantenuta.

Negli ecosistemi naturali, le specie esotiche invasive normalmente competono con quelle indigene, sostituendole. Tuttavia, non tutte le specie esotiche sono dannose. Infatti, alcune di esse svolgono anche la funzione ecologica che prima era svolta dalle specie indigene, diventate rare o scomparse. In questi casi, non ha molto senso una loro eradicazione. Alcune specie esotiche sono state introdotte secoli fa dagli uomini o da altri vettori e si sono naturalizzate, in modo tale da rendere discutibile la loro identificazione come tali. Altre specie, a seguito delle oscillazioni climatiche durante l'Olocene, dopo una migrazione verso altre regioni, vi sono poi rientrate, ed è quindi difficile considerarle esotiche.

Anche eradicando tutte le specie esotiche da un sito d'intervento, la possibilità di un loro ritorno può restare alta. Di conseguenza, è essenziale adottare per ciascuna specie esotica presente una specifica politica d'azione, fondata realisticamente su dati di fatto biologici, economici e logistici. È preferibile dare la massima priorità al controllo o all'eradicazione delle specie che costituiscono una minaccia maggiore. Tra queste, sono da comprendere le specie vegetali invasive che sono particolarmente mobili, che quindi costituiscono una minaccia ecologica alla scala di paesaggio e dell'intera zona, e le specie animali che consumano o soppiantano le specie indigene. Nella

rimozione delle specie esotiche, va prestata molta attenzione a non danneggiare quelle indigene e i suoli.

In alcuni casi, nel progetto di restauro sono introdotte piante non autoctone per uno scopo specifico, per esempio, impiegandole come colture di copertura, colture di protezione (*nurse crops*) o colture fissatrici dell'azoto. Il programma di restauro deve però prevedere la rimozione finale di queste specie, a meno che esse siano non persistenti, di durata piuttosto breve, destinate a essere sostituite nel corso della successione.

## 7. Monitoraggio e valutazione

Un progetto di restauro correttamente pianificato mira a raggiungere obiettivi chiaramente definiti, che rispecchiano caratteristiche importanti dell'ecosistema di riferimento. La meta si raggiunge perseguendo obiettivi specifici. La meta è un concetto astratto, mentre gli obiettivi sono misure concrete prese per raggiungerla.

Relativamente alla valutazione di un ecosistema restaurato, si devono porre due domande fondamentali. Sono stati raggiunti gli obiettivi? È stata raggiunta la meta? Rispondere a queste domande ha senso solo se la meta e gli obiettivi sono stati definiti prima dell'effettuazione dei lavori del progetto di restauro.

Gli ecosistemi sono complessi e non esistono due ecosistemi intatti identici, almeno non quando li si esamina con dettaglio. Per lo stesso motivo, nessun ecosistema restaurato nel sito d'intervento può mai essere identico al riferimento. Il numero di variabili dell'ecosistema usabili in una valutazione è troppo grande perché possano essere tutte misurate in un ragionevole lasso di tempo. La scelta delle variabili da valutare, trascurandone altre, richiede al valutatore un pragmatico giudizio di merito.

Gli obiettivi sono valutati sulla base di **standard prestazionali**, noti anche come criteri di progettazione (*design criteria*) o criteri di successo (*success criteria*). Questi standard o criteri derivano in gran parte dalla comprensione dell'ecosistema di riferimento. Gli standard prestazionali forniscono una base empirica che consente di determinare se gli obiettivi di progetto siano stati raggiunti o no. Gli obiettivi, gli standard prestazionali e i protocolli per il monitoraggio e per la valutazione dei dati devono essere inclusi fin dall'inizio nei progetti di restauro. Se i dati raccolti durante il monitoraggio indicano che gli standard prestazionali sono stati soddisfatti, è indubbio che gli obiettivi del progetto sono stati raggiunti, l'ecosistema restaurato, quindi, è verosimilmente abbastanza resiliente da avere bisogno di poca o nessuna ulteriore assistenza da parte del restauratore.

Si presuppone che la meta che il progetto si pone sia raggiunta, o che presto lo sarà, quando siano raggiunti gli obiettivi fissati. Non è certo che ciò sia vero, visto che gli obiettivi e gli standard prestazionali individuati si possono mostrare inadeguati; per di più, avverse congiunture ambientali imprevedute possono deviare la traiettoria del restauro. Per questo motivo, essendo la meta un'idea astratta che non può essere sottoposta ad alcuna reale verifica quantitativa, nella valutazione del suo raggiungimento è inevitabile che ci sia un elemento di giudizio professionale e, quindi, una certa dose di soggettività.

Ci sono tre metodi per fare una valutazione: il *confronto diretto*, l'*analisi delle caratteristiche* e l'*analisi della traiettoria*. Nel **confronto diretto**, i parametri scelti sono stimati o misurati nei siti di restauro e di riferimento. Se la descrizione del riferimento è completa, possono essere confrontati almeno 20 o 30 parametri, comprendenti aspetti riguardanti sia il biota sia l'ambiente abiotico. È possibile che sorga una certa ambiguità di giudizio quando, dal confronto, alcuni aspetti risultano vicini e altri no. La domanda quindi è: quanti parametri devono avere valori simili e quanto vicini devono essere i valori, per poter affermare che la meta che il restauro si poneva è stata raggiunta?

L'approccio più soddisfacente può essere quello di scegliere con cura un gruppo coerente di aspetti che, nel loro insieme, descrivano l'ecosistema pienamente, anche se in modo succinto.

Nell'**analisi delle caratteristiche**, quest'ultime sono valutate rispetto all'elenco fornito nella sezione 3. In questo metodo, per giudicare il grado di successo, sono utili i dati quantitativi e semiquantitativi forniti dal monitoraggio e dagli altri inventari previsti.

Quello dell'**analisi della traiettoria** è un metodo promettente, ancora in corso di perfezionamento, che si presta all'interpretazione di grandi quantità di dati di confronto. In questo metodo, i dati raccolti periodicamente nel sito d'intervento sono riportati su grafici al fine d'individuare il loro andamento. Se un andamento si dirige verso le condizioni del riferimento, il restauro sta seguendo la traiettoria voluta.

La valutazione comprende il giudizio di tutte le mete e di tutti gli obiettivi stabiliti, che riguardano aspetti culturali, economici e sociali. Per questi ultimi, la valutazione può basarsi anche su metodi propri delle scienze sociali. La valutazione delle finalità socioeconomiche è importante per i soggetti interessati e per i politici, cui spetta la decisione finale sull'autorizzazione e il finanziamento del progetto di restauro.

## 8. Pianificazione del restauro

La pianificazione dei progetti di restauro comprende, come minimo, quanto segue:

- una chiara motivazione del restauro;
- una descrizione ecologica del sito destinato al restauro;
- una definizione della meta e degli obiettivi del progetto di restauro;
- un'individuazione e una descrizione del riferimento;
- una spiegazione di come il restauro proposto s'integre con il paesaggio e i suoi flussi di organismi e materiali;
- piani, programmi e *budget* precisi per le attività di preparazione del sito, per quelle di avvio delle operazioni e per quelle successive, includendo una strategia per effettuare prontamente correzioni in corso d'opera;
- *standard* prestazionali ben disegnati, esplicitamente dichiarati, con protocolli di monitoraggio con i quali valutare il progetto;
- strategie per la protezione e il mantenimento di lungo termine dell'ecosistema restaurato.

Dove possibile, nel sito d'intervento dovrebbe essere lasciata almeno un'area di controllo non trattata, per confrontarla con l'ecosistema restaurato.

## 9. Relazioni tra pratica ed ecologia del restauro

Il **restauro ecologico** è la pratica con cui si restaurano gli ecosistemi, effettuata da professionisti in specifici siti d'intervento, mentre la scienza su cui esso si fonda si chiama **ecologia del restauro**<sup>6</sup> (*restoration ecology*). Lo scopo dell'ecologia del restauro è quello di fornire concetti chiari, modelli, metodologie e strumenti per l'attività dei professionisti. A volte il professionista e l'ecologo del restauro sono la stessa persona, sottolineandosi così il legame tra pratica e teoria.

---

<sup>6</sup> N.d.T.: in precedenza il termine '*restoration ecology*' è stato tradotto con 'ecologia del ripristino' (E. Padoa Schioppa, 1999. *Restoration Ecology*. In: R. Massa, V. Ingegnoli, *Biodiversità estinzione e conservazione*, UTET). Tale traduzione, che peraltro si basa su un documento del 1991 della SER International, superato dal presente, non è adeguata ai significati che qui sono stati più puntualmente definiti.

L'ecologia del restauro non limita il suo campo alle attività dirette alla pratica del restauro, ma contribuisce a far progredire la ricerca mediante l'uso dei siti d'intervento come aree sperimentali. Per esempio, le informazioni ricavate dai siti soggetti ad interventi di restauro ecologico possono mostrarsi utili per dare risposta ai quesiti riguardanti le regole secondo le quali s'assemblano le comunità viventi. Inoltre, gli ecosistemi restaurati possono servire da riferimento per le aree destinate alla protezione della natura.

## 10. Relazioni del restauro con altre attività

Varie altre attività cercano di modificare il biota e le condizioni fisiche di un sito e, spesso, sono confuse con il restauro ecologico. Tra queste attività ci sono la bonifica, la riabilitazione, la mitigazione, l'ingegneria ecologica e vari tipi di gestione delle risorse, compreso la gestione della fauna selvatica, della pesca e dei pascoli, l'agroforestazione e la selvicoltura. Tutte queste attività possono sovrapporsi al restauro ecologico e anche definirsi in tal modo, se esse soddisfano tutti i criteri elencati nella sezione 3. Rispetto agli altri tipi di attività, il restauro generalmente richiede cure successive più prolungate.

La **riabilitazione** condivide col restauro un'attenzione centrata sugli ecosistemi storici o preesistenti per i modelli o per i riferimenti, ma le due attività differiscono nelle finalità e nelle strategie. La riabilitazione mette in evidenza la riparazione dei processi, della produttività e dei servizi dell'ecosistema, mentre per il restauro importa anche il ristabilimento dell'inegrità biologica preesistente, in termini di composizione specifica e di struttura della comunità. Ciò non di meno, il restauro, inteso in senso lato, probabilmente raccoglie la grande maggioranza dei lavori che prima erano definiti come riabilitazione.

Il termine **bonifica**, come è inteso comunemente nel contesto delle aree estrattive in America del Nord e nel Regno Unito, ha un significato ancora più ampio della riabilitazione<sup>7</sup>. Gli obiettivi principali della bonifica comprendono la stabilizzazione del terreno, l'assicurazione della salute pubblica, il miglioramento estetico e, di solito, è ritenuto un utile proposito quello di riportare il sito in condizioni tali da consentire una qualche forma di riutilizzazione, ritenuta efficace nell'ambito del contesto della zona. La nuova messa a dimora di vegetazione, che normalmente fa parte della bonifica, può prevedere l'impianto di solo una o poche specie. I progetti di bonifica impostati in modo più ecologico possono anche essere definiti come riabilitazione o perfino come restauro.

La **mitigazione** è un'azione che tende a compensare danneggiamenti ambientali. Essa è comunemente richiesta negli Stati Uniti d'America come condizione per la concessione di permessi per interventi e attività private e per i progetti di lavori pubblici che causano danneggiamenti a zone umide. È possibile che qualche progetto di mitigazione, ma probabilmente solo pochi, abbiano le caratteristiche per essere definiti come progetti di restauro.

Il termine **creazione** è di uso recente e riguarda specialmente progetti di mitigazione effettuati su terreni completamente privi di vegetazione. Talvolta è usato anche il termine **costruzione**. Spesso, lo svuotamento di un sito induce nell'ambiente cambiamenti tali da richiedere l'installazione di un tipo di ecosistema diverso da quello che vi è stato storicamente. La creazione che è effettuata con le tecniche dell'ingegneria 'sorvegliata' (*supervised*) o dell'architettura di paesaggio non può essere definita restauro, perché quest'ultimo avvia lo sviluppo di un ecosistema lungo una traiettoria preferenziale, lasciando quindi che i processi autogeni guidino poi lo sviluppo, con poca o nessuna interferenza umana.

---

<sup>7</sup> N.d.T.: Analogamente, per il termine "recupero ambientale" e, in parte, per quello di "ripristino ambientale". Quest'ultimo in genere implica una forma di ritorno alle condizioni "pristine", riferite essenzialmente alla ricostituzione nell'aspetto o nella forma primitiva, trascurando la funzionalità ecologica.

L'**ingegneria ecologica**<sup>8</sup> comporta la manipolazione di materiali naturali, di organismi viventi e dell'ambiente fisico e chimico, per realizzare specifiche finalità umane e per risolvere problemi tecnici. Essa quindi è diversa dall'ingegneria civile, che si affida ai materiali costruiti dall'uomo, come l'acciaio e il calcestruzzo. In tutta la progettazione ingegneristica il concetto della prevedibilità è di primaria importanza, al contrario, il restauro riconosce e accetta il concetto di sviluppo imprevedibile, rivolgendosi a finalità che si spingono oltre uno stretto pragmatismo e che comprendono la biodiversità e l'integrità e la salute dell'ecosistema. Nel caso in cui la prevedibilità non sia una condizione necessaria, molti progetti d'ingegneria ecologica potrebbero allargare il proprio orizzonte fino a qualificarsi come restauro.

### **11. Integrazione del restauro ecologico nell'ambito di programmi più ampi**

Il restauro ecologico a volte è soltanto uno dei molti aspetti di una più vasta intrapresa pubblica o privata, come progetti di sviluppo e programmi per la gestione di un bacino idrografico, la gestione di un ecosistema e la protezione della natura. I responsabili di progetto di queste iniziative più ampie dovrebbero essere consapevoli della complessità e dei costi che la progettazione e l'attuazione di un restauro ecologico implicano. È possibile risparmiare risorse con un attento coordinamento delle attività di restauro con altri aspetti del programma in cui esso è inserito. Per questo motivo, i responsabili di progetto possono trarre vantaggio dal riconoscimento del restauro ecologico come parte integrale del programma. Così facendo, il restauratore può contribuire in modo significativo a tutti gli aspetti del programma che interferiscono col restauro. Inoltre, il restauratore è in grado di accertare che tutto il restauro ecologico sia ben concepito e pienamente realizzato, perseguendo, così, il bene complessivo dell'intrapresa e, quindi, della collettività.

---

<sup>8</sup> N.d.T.: Il termine usato supera l'ambito definito dal termine 'ingegneria naturalistica', che "studia le modalità d'utilizzo, come materiali da costruzione di piante viventi, parti di piante o addirittura di intere biocenosi vegetali" (H.M. Schiechl, 1991. *Bioingegneria forestale*. Edizioni Castaldi – Feltre). Il termine 'ingegneria ambientale' si riferisce invece a un ambito più ampio, riguardando ad esempio anche la progettazione di impianti di smaltimento rifiuti e la bonifica di siti contaminati.